

Edisi keempat

KATE VAN DYKE

Asas Petroleum

Penterjemah

Issham Ismail

Ariffin Samsuri

INGATAN TULUS IKHLAS

daripada

PENERBIT

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

Penerbit
Universiti Teknologi Malaysia
Skudai
Johor Darul Ta'zim
2000

Kandungan

1	Geologi Petroleum	1
	Konsep Asas Geologi	2
	Tektonik Plat	2
	Hayat di Bumi	9
	Penggolongan Batuan	11
	Penumpukan Petroleum	13
	Asal Usul Petroleum	13
	Keliangan dan Ketertelapan Batuan Galas-Minyak	14
	Penghijrahan Petroleum	15
	Perangkap	15
	Bendalir Reservoir	21
	Air	21
	Minyak	21
	Gas Asli	22
	Taburan Bendalir	22
	Tekanan Reservoir	23
	Tekanan Normal	23
	Tekanan Abnormal	24
2	Eksplorasi Petroleum	25
	Kajian Geografi Permukaan	25
	Fotograf Udara dan Imej Satelit	25
	Tirisan Minyak dan Gas	28
	Pengumpulan Data	29
	Perpustakaan Syarikat Persendirian	29
	Rekod Agensi Awam	29
	Pangkalan Data	29
	Survei Geofizik	30
	Survei Magnet dan Elektromagnet	30
	Survei Graviti	31
	Survei Seismik	32
	Peralatan Pembangunan Reservoir	38
	Log Telaga	38
	Log Sampel	40
	Ujian Batang Gerudi	41
	Ujian Strat	41
	Sekaitan Stratigrafi	41
	Peta	42
	Grafik Komputer dan Model Komputer	44
3	Aspek Pemajakan	47
	Jenis Pemilikan Persendirian	48
	Pemilik Tanah Yuran Mudah	48
	Pemilik Estet Mineral dan Pemilik Estet Permukaan	49
	Pemegang Faedah Royalti	49
	Pajakan dan Undang-undang	50
	Bahasa Pemajakan	50
	Pajakan Pertama	50
	Perintah Mahkamah terhadap Penghijrahan Minyak	50

Keputusan Mahkamah terhadap Pajak		Spesifikasi	82
Mineral	51	Kontrak Kakian	83
Peraturan Kerajaan	52	Kontrak Kerja Harian	83
Persediaan untuk Pajak Tanah Milik		Kontrak Serah Kunci	84
Persendirian	53	Perjanjian Gabungan	84
Penentuan Pemilikan	53	Sistem Penggerudian Berputar	85
Penjelasan Hak Milik	54	Sistem Pengangkatan	86
Pengesahan Keupayaan Pemilik terhadap		Sistem Putaran	92
Kontrak	55	Sistem Edaran	99
Perundingan Pajak	56	Sistem Kuasa	103
Peruntukan Pajak	58	Operasi Penggerudian Rutin	105
Tarikh	59	Penyediaan Tapak Gerudi	105
Fasal Memberi Tawaran	59	Mendirikan Rig	106
Fasal Habendum	60	Penggerudian Lubang Permukaan	
Fasal Royalti	61	(Pengorekan)	107
Fasal Pengumpulan dan Pengunitan	62	Penyorongan Keluar	108
Fasal Penggerudian, Sewaan Lewat, dan		Pemasangan Selongsong Permukaan	111
Fasal Lain yang Berkaitan	64	Penyimenan Selongsong	112
Fasal Penugasan	65	Penyorongan Masuk	114
Fasal Kerosakan	66	Pengawalan Tekanan Formasi	115
Fasal Majeure Paksa	66	Pemasangan dan Penyimenan Selongsong	
Fasal Jaminan dan Pengurangan Mengikut		Perantaraan	118
Bahagian	66	Penggerudian ke Kedalaman Akhir	118
Peruntukan Khas dan Pindaan	66	Menilai Formasi	118
Peruntukan Penamatan-Pajakan	67	Pemasangan Selongsong Pengeluaran	120
Pelaksanaan Pajak	68	Penggerudian Luar Pesisir	121
Tandatangan Pajak	68	Sejarah Penggerudian Luar Pesisir	121
Pengakuan Pajak	68	Penggerudian Luar Pesisir Sekarang	123
Rekod Pajak yang Terlaksana	68	Unit Penggerudian Luar Pesisir	
Urus Niaga Selepas Pemajakan	69	Boleh Gerak	123
Tatatertib Pembahagian	69	Pelantar Penggerudian Luar Pesisir	130
Perjanjian Sokongan	69	Penggerudian Berarah	134
Perjanjian Pemerolehan Kawasan Terukur	70	Kegunaan	134
Perjanjian Pengendalian Bersama	70	Perkakas dan Teknik	136
Usaha Niaga Bersama	70	Pemancingan	138
Perjanjian Royalti Pengatas	70	Membebaskan Paip Lekat	138
Pemajakan Tanah Awam	71	Mendapatkan Semula Paip Terpulas	141
Pemilikan Negeri	71	Pemancingan Junk	142
Pemajakan Tanah Negeri	71	Penggerudian Udara atau Gas	143
Pemilikan Persekutuan	72		
Pemajakan Tanah Darat Persekutuan	72		
Pemajakan Kawasan Luar Pesisir			
Persekutuan	74		
Pemilikan di Kanada	74		
4 Operasi Penggerudian	75	5 Pengeluaran	145
Sejarah Penggerudian Pencarian Minyak	75	Kaedah Pengeluaran Awal	145
Telaga Drake	75	Pelengkapan	145
Penggerudian Perkakas-Kabel	78	Pengepaman	146
Penggerudian Berputar	79	Penstoran dan Pengendalian	146
Penggerudian Sekarang	81	Pelengkapan Telaga	147
Kontrak Penggerudian	82	Selongsong Pengeluaran dan Pelapik	147
Kontraktor Penggerudian	82	Pelengkapan Lubang-Terbuka,	
Cadangan Penawaran Harga dan		Pelengkapan Tertebuk, dan	
		Pelengkapan Tabir Terbalut-Dawai	148
		Tetiub dan Penyendat	150
		Kepala Telaga	152
		Memulakan Aliran	153
		Melengkapkan Telaga Gas	154

Mekanisme Pacuan Reservoir	155
Pemacu Air	155
Pemacu Gas	156
Pemacu Gabungan	156
Penyaliran Graviti	157
Angkat Buatan	158
Pengepaman Rasuk	158
Pam Tenggelam Elektrik	158
Pam Hidraulik Subpermukaan	159
Angkat Gas	160
Pengujian Telaga	161
Ujian Keupayaan	161
Ujian Tekanan Dasar Lubang	161
Ujian Daya Pengeluaran	161
Ujian Formasi Talian Dawai	161
Perangsangan Telaga	162
Bahan Letupan	162
Peretakan Hidraulik	162
Pengasidan	164
Teknik Perolehan Lebih Baik	165
Banjiran Air	165
Suntikan Gas Tidak Larut Campur	167
Suntikan Gas Larut Campur	167
Banjiran Kimia	168
Perolehan Terma	169
Pengendalian Bendalir Telaga di Permukaan	171
Penyingkiran Air Bebas	172
Memisah Cecair daripada Gas	172
Perawatan Emulsi Medan Minyak	174
Jenis Perawat Emulsi	175
Pengendalian Gas Asli	177
Menyimpan Minyak Mentah	182
Pengukuran dan Pengujian Minyak dan Gas	184
Pensampelan Minyak	184
Pengukuran dan Pengujian Minyak	185
Unit LACT	186
Pensampelan Gas	187
Pengujian Gas	187
Pemeteran Gas	188
Pemuliharaan dan Kerja Semula Telaga	190
Peralatan Pemuliharaan dan Peralatan Kerja Semula	190
Pemuliharaan dan Baik Pulih Telaga	195
Operasi Kerja Semula	196
Pengeluaran Luar Pesisir dan Artik	201
Pelantar Pengeluaran Moden	201
Pelengkapan Luar Pesisir	202
Mengendali Bendalir Telaga di Luar Pesisir	204
Pengeluaran di Artik	206
6 Pengangkutan	207
Kaedah Pengangkutan Awal	207
Kereta/Gerabak dan Air	207

Kereta Api dan Kereta Tangki	207
Talian Paip Minyak Pertama	208
Talian Utama Minyak Mentah	209
Sistem Pengumpulan	210
Talian Paip Produk	211
Talian Paip Pengagihan Gas	212
Kapal di Laut	214
Trak Tangki	215
Menggerakkan Baj	216
Baj	217
Bot Tunda	217
Bot Tolak	218
Sistem Landasan Kereta Api	220
Pengangkutan Produk Petroleum Melalui Landasan	220
Peraturan Kerajaan	220
Reka Bentuk dan Pengilangan Kereta Tangki	221
Keselamatan	222
Rentetan Kereta Tangki	222
Pengangkutan Motor	226
Jenis Kenderaan	226
Trak Minyak Mentah	226
Pengangkutan Produk Tertapis Tanpa Tekanan	226
Pengangkutan LPG	228
Peraturan Kerajaan A.S.	228
Kapal Tangki Laut	229
Supertanker	229
Kapal Tangki Bersaiz Sederhana	229
Kapal Tangki NGL dan LNG	230
Kapal Tangki Pemecah Ais	231
Kemudahan Pemunggaran	232
Talian Paip Minyak Mentah	234
Peraturan Negeri dan Persekutuan	235
Sistem Pengumpulan Medan	235
Operasi Stesen Pam	235
Mengawal Pergerakan Minyak	238
Talian Paip Produk	241
Kawalan Pergerakan Produk	241
Pembebayaan	242
Talian Paip Gas Asli	246
Sistem Transmisi Moden	246
Pengautomasian	248
Bahan Bauan	248
Pembinaan Talian Paip di Darat	249
Menggembeleng Rebakan	249
Membersihkan Hak Laluan	249
Perparitan	250
Perentetan Paip	252
Pembengkokan Paip	253
Pembersihan, Penjajaran, dan Pengimpalan Paip	253
Penyalutan dan Pembungkusan Paip	254
Pemasukan dan Penimbunan	254

Krew Pengikat dan Pakar	255	Membersihkan Tanah Tercemar	303
Pembinaan Talian Paip Luar Pesisir	257	Semburan Keluar	306
Baj Pembentang Konvensional	257	Talian Paip	307
Baj Penimbusan	259	Tumpahan dari Kapal Tangki	308
Superbaj	260	Penapisan dan Pengeluaran Bahan Petrokimia	313
Baj Separuh Tenggelam	260		
Bejana Kili	261		
Ekonomik dan Keselamatan	262		
7 Penapisan dan Pemprosesan	265	9 Pemasaran Petroleum	317
Struktur Hidrokarbon dalam Minyak dan Gas	267	Pasaran yang Berubah	317
Parafin	267	Jenis Pihak Pemasaran	317
Olefin	269	Pembangunan Pasaran Produk	317
Naftena	269	Industri Gas Asli	318
Aromatik	269	Penyelidikan dan Perancangan	320
Unsur Lain	269	Penilaian Pasaran	320
Penapisan Minyak Mentah	270	Permintaan dan Tawaran	321
Asai	271	Pengaruh Antarabangsa	321
Proses Penapisan	272	Pengaruh Teknologi	321
Pemprosesan Gas	286	Keupayaan Kilang Penapisan	321
Memperoleh Campuran NGL	286	Penjadualan Pengangkutan	322
Pemeringkatan NGL	290	Peraturan Harga Persekutuan	322
Bahan Petrokimia	291	Penilaian Berkomputer	323
Jenis Bahan Petrokimia	291	Pembelian dan Penjualan	324
Sebuah Loji Petrokimia	292	Minyak Mentah	324
		Penjualan Bahan Petrokimia	327
		Transaksi Gas Asli	327
		Penjualan dan Penghantaran Produk	327
8 Kepentingan Persekitaran dan Kesihatan	297	Penggunaan Produk Petroleum	331
Peraturan dan Undang-undang Persekutuan	297	Automobil	333
Kualiti Udara	298	Pesawat Terbang	333
Kualiti Air	298	Penjanaan Elektrik	334
Perlindungan terhadap Manusia dan Hidupan Lain	300	Industri	334
Bahan dan Sisa Berbahaya	301	Kediaman	335
Perjanjian dan Undang-undang Antarabangsa	301	Perdagangan	336
Masalah Sampel dan Penyelesaiannya	302	Pertanian	336
Sistem Penggerudian Gelung Tertutup	302	Pengiklanan dan Perhubungan Awam	338
Lumpur Gerudi Dasar Sintetik	302	Pengiklanan Institusi	338
Bahan Tambah Lumpur daripada Bahan Buangan	303	Promosi Khas	338
Mengesan Air dan Tanah Tercemar	303	Perhubungan Awam Berorientasi Perkhidmatan	338
		Rujukan	341
		Indeks	343

Kata Pengantar

Warga negara kita tidak boleh hidup tanpa tenaga. Minyak dan gas asli membekalkan lebih kurang 70 peratus tenaga yang digunakan di Amerika Syarikat. Dengan mengambil kira kepentingannya, mereka yang terlibat secara langsung dan yang dipengaruhi oleh industri ini sudah tentu matang dengannya. Semakin baik pemahaman mereka tentang industri petroleum, semakin baik peluang untuk membuat keputusan yang sesuai dalam menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan tenaga kita.

Industri petroleum telah mendahului industri lain dari segi pembangunan dan penggunaan teknologi termaju. Persatuan Kelab Desk dan Derrick yang sedar tentang perlunya pemahaman yang baik dalam teknologi kompleks dan pelbagai jenis ini, telah menyokong penerbitan buku Asas Petroleum, yang ditujukan khas kepada individu yang mahukan pengetahuan tentang industri petroleum. Buku yang diterbitkan khas untuk golongan profesional dan orang awam ini, boleh digunakan sebagai panduan asas bagi aspek-aspek praktikal dalam industri petroleum. Selain itu, ia bukan sahaja digunakan oleh persatuan sebagai teks utama untuk latihan dalaman, pembelajaran di kolej, dan kursus luar, malah turut digunakan sebagai alat pembelajaran untuk industri bersekutu, dan juga bagi agensi-agensi profesional dan kerajaan. Ia menyediakan perbincangan asas tentang industri petroleum bermula dengan geologi hingga eksplorasi, pengerudian, pengeluaran, pengangkutan, penapisan dan pemprosesan, dan pemasaran.

Desk dan Derrick ialah sebuah pertubuhan yang unik dengan keahlian lebih kurang sepuluh ribu orang yang bekerja dalam industri petroleum dan bersekutu. Mereka berpegang kepada kenyataan bahawa pengetahuan yang baik tentang industri petroleum akan menghasilkan prestasi perkhidmatan yang cemerlang. Dengan berbekalkan polisi yang telus dan mantap, pertubuhan mempunyai konsep yang sangat positif tentang nilai pembelajaran bagi golongan wanita.

Persatuan Kelab Desk dan Derrick,
4823 S. Sheridan, Suite 308-A,
Tulsa, Oklahoma 74145.

Prakata

A sas Petroleum, edisi ke-4 ini mengekalkan tujuan edisi pertama: iaitu, untuk memberi gambaran menyeluruh dan bukan teknikal tentang industri petroleum. Seperti edisi yang terdahulu, edisi ini tidak mencakupi semua prosedur dan kelengkapan yang digunakan dalam industri tersebut; dan turut tidak memberikan penjelasan yang terperinci. Sebaliknya, buku ini memberikan maklumat umum dan berguna yang berupaya membantu orang awam memahami dunia minyak dan gas yang begitu rumit. Edisi baru perlu diterbitkan kerana mengambil kira kemajuan teknikal yang dicapai dan perubahan lain yang berlaku dalam industri berkaitan.

Buku ini menggunakan istilah yang mudah. Bagaimanapun, pembaca mungkin berhadapan dengan satu perkataan atau frasa yang mereka tidak faham langsung. Untuk mengatasi ini, mereka boleh merujuk kepada *A Dictionary for the Petroleum Industry* atau *Petroleum Fundamentals Glossary*, yang turut diterbitkan oleh PETEX.

PETEX berjaya menerbitkan edisi pertama hasil bantuan dan sokongan Kelab Desk dan Derrick (ADDC). Selanjutnya, Jawatankuasa Pendidikan ADDC telah memberikan input yang banyak kepada pengarang dan editor PETEX. Edisi ke-4 ini bukan sahaja menerima perubahan yang telah dicadangkan oleh ADDC, tetapi turut mengambil kira pandangan para pelajar, guru, dan pembaca edisi terdahulu.

PETEX berharap buku ini dapat memenuhi keperluan mereka yang tidak terlibat dalam industri petroleum, tetapi masih berminat untuk mengetahui lebih lanjut tentang petroleum. Kami juga berharap agar buku ini memberi manfaat kepada mereka yang terlibat dalam industri tersebut, terutama semua ahli Kelab Desk dan Derrick, kerana mereka inilah yang menjadi inspirasi kepada PETEX dalam menerbitkan bahan-bahan latihan.

1

Geologi Petroleum

Geologi ialah sains yang membincangkan asal usul, sejarah, dan struktur fizikal bumi serta hayatnya, seperti yang ditunjukkan dalam batuan. Ia merupakan sains yang mustahak kepada industri petroleum kerana kebanyakan petroleum dijumpai dalam batuan yang berada jauh di dalam bumi. Sesiapa yang berminat dalam industri petroleum perlu mengenali dan mahir dengan prinsip asas geologi.

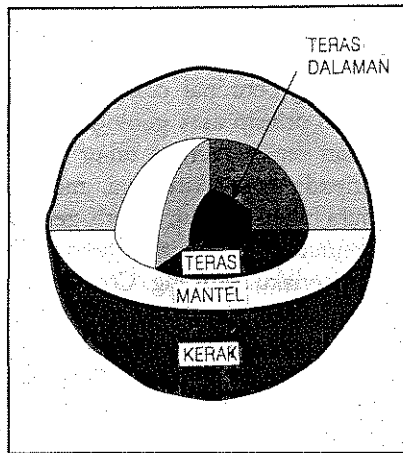
Ahli geologi cuba menjawab persoalan seperti berapa umur bumi, dari mana ia datang, dan ia terbuat daripada apa. Untuk ini, mereka mengkaji bukti peristiwa yang berlaku berjuta tahun dahulu, seperti gempa bumi, volkano, dan hanyutan benua, dan kemudian mengaitkan fenomena ini dengan hasil peristiwa yang serupa yang berlaku sekarang. Contohnya, mereka cuba menentukan tempat lautan purbakala dan banjaran gunung berada, dan mereka menjejaki evolusi hayat melalui fosil. Mereka juga mengkaji komposisi batuan di dalam kerak bumi. Semasa kajian, ahli geologi bergantung pada pengetahuan yang diterbitkan daripada sains lain, seperti astronomi, kimia, fizik, dan biologi.

Ahli geologi petroleum berminat dengan batuan yang mengandungi minyak dan gas, terutama batuan yang mengandungi petroleum yang cukup banyak, yang boleh dikomersilkan. Syarikat yang menggerudi untuk mendapatkan minyak berhasrat mendapat peluang yang munasabah untuk membuat keuntungan daripada jualan yang akan dilakukan, dengan menimbang harga pasaran minyak dan gas, jumlah petroleum yang bakal diperolehi, kadar pengeluaran dijangka, dan kos penggerudian serta pengeluaran telaga. Dengan demikian, ahli geologi petroleum mempunyai dua tugas; pertama, mereka membina semula sejarah geologi kawasan yang mungkin merupakan kedudukan pengumpulan petroleum; kemudian, bila kedudukan telah ditemui, mereka menilainya bagi menentukan sama ada penumpukan mempunyai petroleum yang cukup untuk dikeluarkan secara komersil.

Sebelum perbincangan ini dilanjutkan, penting untuk mengelakkan kekeliruan tentang reservoir minyak. Ramai orang berpendapat bahawa reservoir ialah gua bawah tanah yang besar dan dipenuhi oleh minyak atau sungai yang tertimbus yang dialiri oleh minyak mentah tulen dari tebing ke tebing. Pengertian ini tidak benar, tetapi agak mudah untuk difahami bagaimana pemahaman tersebut boleh berlaku. Malahan para pekerja medan minyak yang berpengalaman pun kerap merujuk reservoir sebagai *kolam minyak*. Banyak bandar raya menyimpan air minuman mereka di dalam tasik atau kolam yang dikenali sebagai reservoir, sehingga istilah ini menambah kekeliruan. Sebenarnya, *reservoir petroleum* ialah formasi batuan yang menahan minyak dan gas, sebagaimana span menahan air.

Berapa besarkah sesebuah reservoir? Dalam perniagaan minyak, ukuran reservoir ditentukan oleh jumlah minyak dan gas yang terdapat di dalamnya. Bagaimanapun, secara fizikal, reservoir yang besar mungkin luas dan cetek, sempit dan dalam, atau bentuk-bentuk lain antara kedua-dua kemungkinan tersebut. Medan Texas Timur meliputi beberapa ribu ekar atau hektar tetapi ketebalannya hanya 5 hingga 10 kaki (1.5 hingga 3 meter). Sebaliknya, medan Gronigen di Holland meliputi hanya lebih kurang 5 ekar (2 hektar) tetapi ketebalannya lebih kurang 85 kaki (26 meter).

KONSEP ASAS GEOLOGI

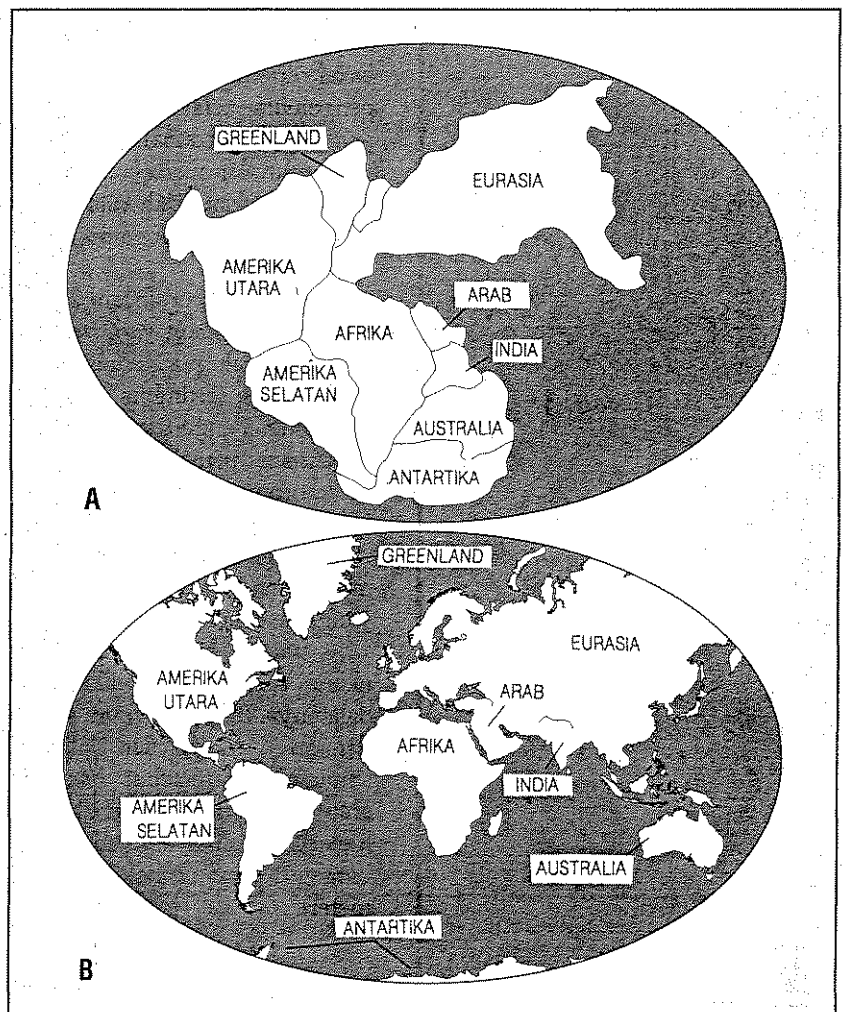


Rajah 1.1 Keratan rentas bumi menunjukkan teras dalaman dan teras luar, mantel, dan kerak.

Pakar kaji bintang dan ahli fizik sekarang berpendapat bahawa bumi telah terbentuk sekurang-kurangnya 4.55 bilion tahun lalu daripada awan habuk kosmik. Ketika graviti menarik planet, haba mampatan, dan unsur radioaktifnya akan menyebabkan planet melebur. Komponen yang paling berat, kebanyakannya besi dan nikel tenggelam ke pusat bumi dan menjadi *teras*. Ahli geologi percaya bahawa teras mempunyai dua bahagian: bahagian dalaman, teras pepejal dan bahagian luar cecair teras (Rajah 1.1). Kedua-dua bahagian tersebut sangat panas, padat, dan berada pada tekanan yang sangat tinggi. Mineral yang lebih ringan membentuk *mantel* yang mungkin pepejal dan tebal di sekitar teras bahagian luar. Mineral tertentu yang banyak mengandungi aluminium, silikon, magnesium, dan unsur ringan yang lain melejal ke dalam *kerak* batuan yang tipis di atas mantel.

Tektonik Plat

Pada masa dahulu, ahli geologi menganggap bahawa benua sentiasa berada di tempat mereka berada sekarang. Bagaimanapun, kemiripan beberapa fosil tumbuhan di Eropah dan Amerika, dan jodohan yang ketara di antara garis pantai, membawa kepada teori bahawa benua telah bergerak terhadap perjalanan masa (Rajah 1.2). Kebanyakan ahli geologi kini percaya bahawa kerak ialah perhimpunan plat-plat raksasa yang serasi antara satu sama lain seperti teka-teki gambar. Bagaimanapun, tidak seperti teka-teki gambar, kepingan-kepingan plat kerak bumi terus bergerak dan mengalami perubahan bentuk. Di sesetengah tempat, kepingan-kepingan tersebut menggelincir melepasi satu sama lain; sementara yang lain, berlanggar atau



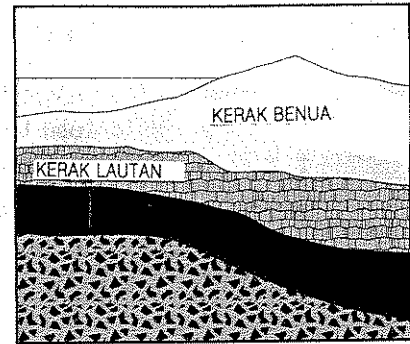
Rajah 1.2 Kedudukan benua sebagaimana 200 juta tahun dahulu (A) dan sekarang (B).

menarik dirinya menjauhi kepingan yang lain. Teori yang menjelaskan proses berkenaan dikenali sebagai *teknik plat*.

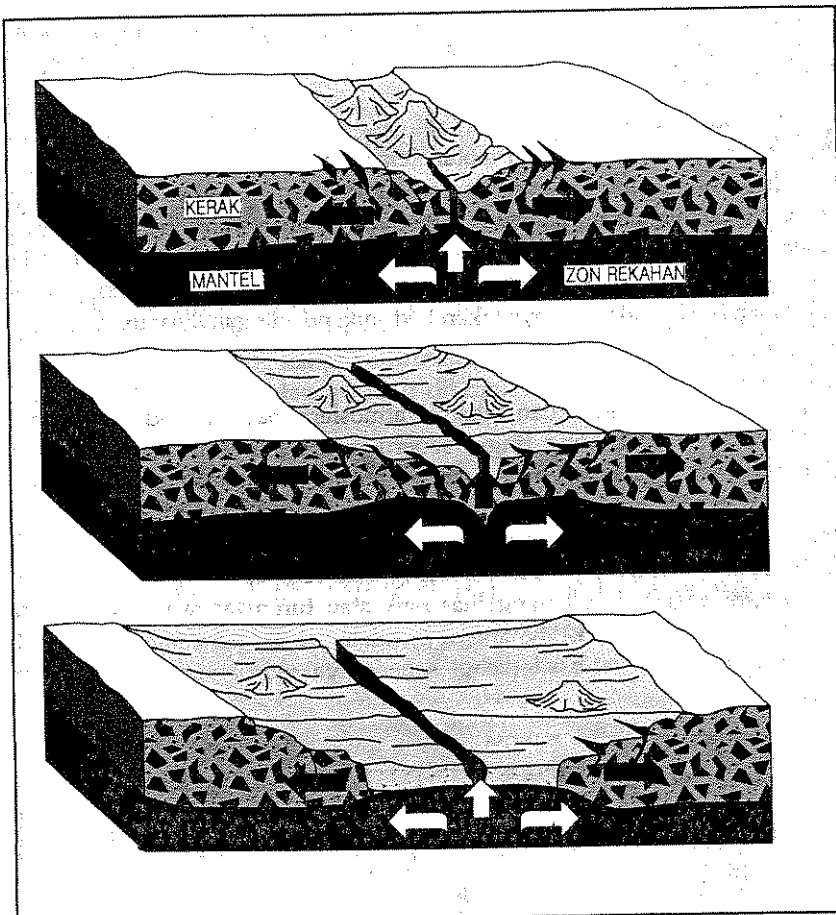
Plat Kerak

Ahli geologi membezakan antara *kerak lautan* yang terletak di bawah lautan dengan *kerak benua*, yang membentuk benua (Rajah 1.3). Kerak lautan adalah tipis—lebih kurang 5 hingga 7 batu (8 hingga 11 kilometer)—dan dibentuk terutamanya oleh batuan berat yang terbentuk semasa batuan yang lebur (*magma*) menyejuk. Batuan kerak benua adalah tebal—10 hingga 30 batu (16 hingga 48 kilometer)—dan agak ringan. Akibat perbezaan ini, benua cenderung mengapung seperti aisberg dalam “laut” batuan yang lebih berat, menjulang tinggi melampaui paras laut di tempat yang paling tebal—dalam gunung.

Beberapa bukti terbaik untuk plat bergerak datangnya dari dasar laut. Di tengah-tengah Lautan Atlantik terdapat banjaran gunung yang panjangnya 10,000 batu (16,100 kilometer) bermula dari Iceland ke hujung selatan Afrika (Rajah 1.4). Ia mempunyai rekahan atau palung yang dalam di sepanjang keraknya. Penyiasatan ke atas Banjaran Tengah Atlantik telah menunjukkan bahawa ia merupakan tempat dua plat berpisah. Di sepanjang rekahan tersebut terdapat pula rentetan volkano bawah laut. Setiap kali meletup, tekanan lava menolak rekahan semakin jauh. Lava itu kemudian mengeras ke dalam batuan dan menjadi kerak baru di antara dua plat.



Rajah 1.3 Kerak lautan lebih berat daripada kerak benua.

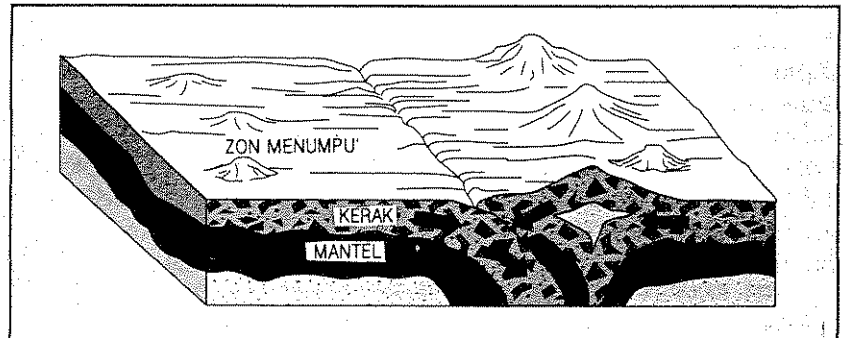


Rajah 1.4 Banjaran Tengah Atlantik merupakan contoh dua plat berpisah, membentuk kerak lautan baru bila lava yang naik dari bawah mengeras.

Jika dua plat di Atlantik berpisah, maka lembangan Lautan Pasifik dijangka akan mengecil. Sebenarnya, ahli geologi percaya bahawa pergerakan ke barat benua Amerika Utara dan benua Amerika Selatan (kerak benua yang lebih ringan) menolak plat Pasifik (kerak lautan lebih berat) ke bawah ke dalam mantel (Rajah 1.5). Perlanggaran antara plat lautan dengan plat benua menerangkan kejadian volkano dan gempa bumi yang lazimnya berlaku di sepanjang zon ini.

Ahli geologi juga mempunyai bukti tentang apa yang berlaku apabila dua plat benua berlanggar. Mereka percaya bahawa gunung yang paling tinggi di dunia, Himalaya, terbentuk ketika India melanggar Asia. Seperti perlanggaran antara dua buah kereta yang sangat perlahan, perlanggaran kerak akan melekok dan melipat batuan di sepanjang tepi kedua-dua plat. Sebenarnya, Himalaya masih naik dalam jumlah yang boleh diukur.

Rajah 1.5 Di sepanjang pantai Pasifik, plat benua Amerika Selatan dan Amerika Utara menolak plat Pasifik ke bawah.



Struktur Geologi

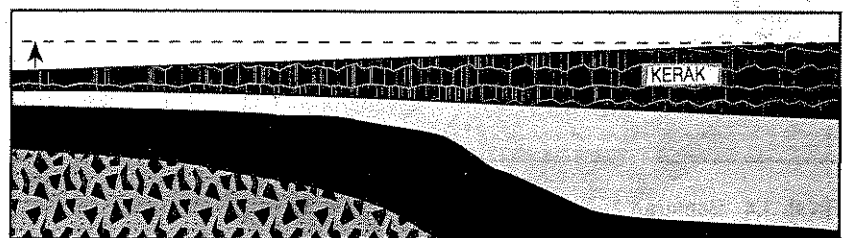
Perihal semua pergerakan kerak bumi mengambil masa berjuta tahun bermakna bahawa bentuk dan kedudukan jisim daratan dan lautan telah berubah. Fosil organisma marin yang dijumpai di beberapa gunung yang paling tinggi dan di telaga minyak yang paling dalam telah menunjukkan bahawa batuan di tempat yang berkaitan telah terbentuk di dalam laut purbakala dan kemudian naik atau jatuh ke kedudukan sekarang.

Ahli geologi menjelaskan tiga struktur asas yang wujud apabila batuan men-cangga, atau berubah bentuk, akibat pergerakan tektonik: peledingan, lipatan, dan sesar.

Ledingan dan Lipatan

Dekat permukaan kerak, pada suhu dan tekanan atmosfera, batuan cenderung untuk pecah apabila ditindaki tegasan yang tinggi seperti gempa bumi. Bagaimanapun, di dalam kerak, haba daripada mantel akan meningkatkan suhu batuan, dan tekanan batuan yang melitupinya akan memampatkan batuan tersebut. Pada suhu dan tekanan yang tinggi, batuan menjadi agak fleksibel. Pada keadaan tersebut, batuan seharusnya patah tetapi sebaliknya batuan cenderung untuk meleding atau terlipat.

Ledingan berlaku apabila kerak yang luas naik atau turun tanpa retakan. Strata batuan di dalam kawasan tersebut kelihatannya mendatar, tetapi penelitian yang lebih terperinci menunjukkan strata batuan tersebut sebenarnya sedikit miring atau curam (Rajah 1.6).

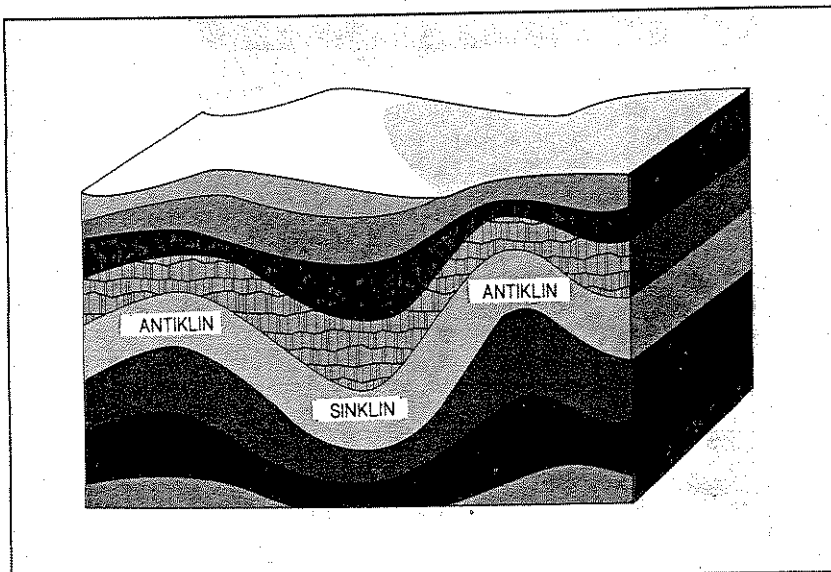


Rajah 1.6 Ledingan ialah kawasan yang miring secara sangat perlahan daripada kerak yang kelihatan mendatar.

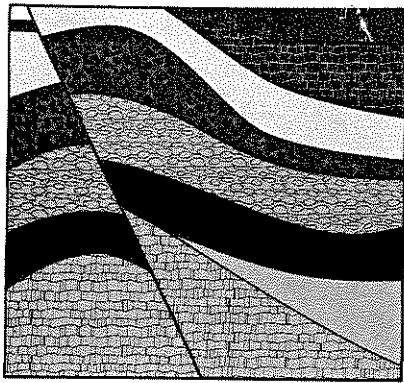


Rajah 1.7 Foto menunjukkan canggaan ke atas kerak bumi yang berlaku akibat lengkokan lapisan menjadi lipatan.

Strata batuan yang telah renyuk dan melengkok menjadi struktur seperti gelombang dikenali sebagai *lipatan* (Rajah 1.7). Lipatan ialah struktur yang paling lazim dalam banjaran gunung dengan pelbagai ukuran, berjulat daripada kedut yang kecil (kurang daripada satu inci) hingga gerbang dan jurang yang besar yang merentas sepanjang beberapa batu. Ledingan ke atas atau gerbang dikenali sebagai *antiklin*; ledingan ke bawah atau jurang pula dikenali sebagai *sinklin* (Rajah 1.8).



Rajah 1.8 Ahli geologi mengelompok lipatan kepada antiklin dan sinklin.

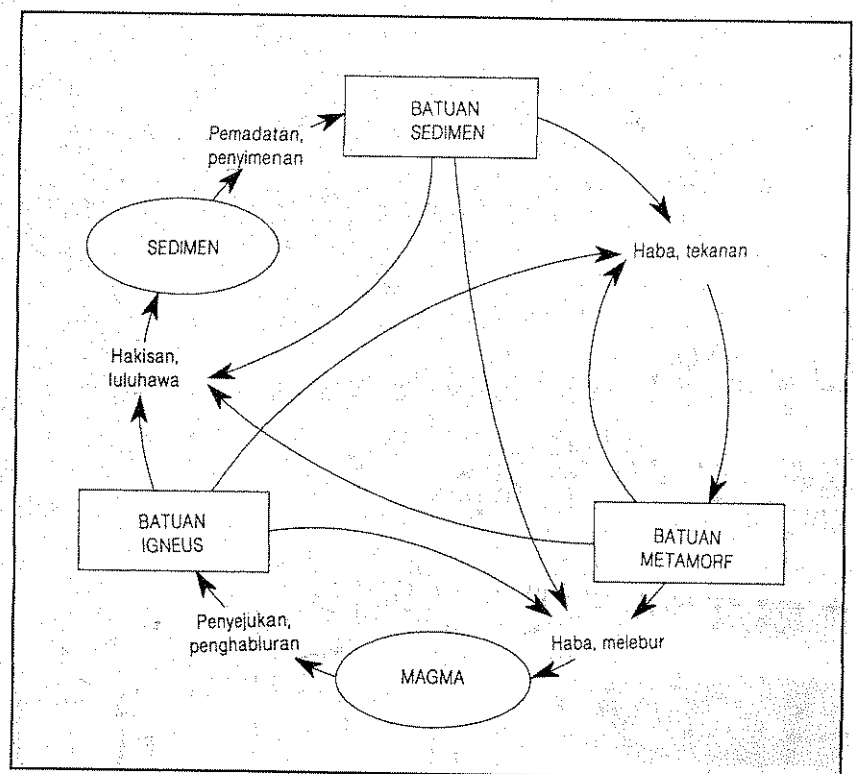


Rajah 1.16 Beberapa formasi yang tersusun secara bertindan dan telah ter-
cangga.

Satu jalur yang terdiri daripada sejenis batuan dikenali sebagai *formasi*. Formasi tersusun secara bertindan, satu lapisan di atas yang lain dan kemudian tercangga oleh lipatan, ledingan, dan penyesaran (Rajah 1.16).

Kitaran Batuan

Sebagaimana yang boleh dilihat, terhadap masa, batuan igneus, sedimen, dan metamorf boleh saling berubah antara satu dengan yang lain. Angin, air, dan ais yang bergerak menghakis semua jenis batuan, membawa partikel-partikel tersebut ke dalam lautan atau tasik, dan membentuk batuan sedimen yang baru. Pergerakan magma ke dalam batuan bukan sahaja akan membentuk batuan igneus yang baru bila ia sejuk, tetapi juga memetamorf batuan yang telah sedia ada dengan habanya. Pergerakan tektonik mengangkat batuan yang telah tertimbus ke permukaan bumi, tempat ia terhakis, atau menolak batuan itu lebih jauh ke dalam bumi, tempat ia mungkin mengalami metamorfisme atau menjadi magma. Hakisan, pergerakan plat kerak, dan pergerakan batuan lebur secara berterusan akan membentuk jenis batuan yang baru daripada batuan yang tua (Rajah 1.17).



Rajah 1.17 Kitaran batuan merubah batuan daripada satu jenis kepada jenis yang lain.

Batuan Kandung-Petroleum

Batuan sedimen merupakan batuan yang paling menarik kepada ahli geologi petroleum kerana kebanyakan penumpukan minyak dan gas berlaku di dalamnya; batuan igneus dan metamorf jarang mengandungi minyak atau gas. Selanjutnya, kebanyakan minyak dunia wujud di dalam batuan sedimen yang terbentuk daripada sedimen marin yang termendap di pinggir benua. Hal ini menyebabkan banyak mendapan terbesar terletak di sepanjang pantai laut seperti sepanjang Teluk Mexico dan Teluk Parsi.

PENUMPUKAN PETROLEUM

Ahli geologi tidak begitu pasti bagaimana petroleum wujud di dalam batuan sedimen tetapi mereka mengetahui ciri-ciri yang mesti dimiliki oleh batuan yang terisi dengan petroleum sehingga petroleum tersebut boleh dikeluarkan. Mereka juga mengetahui jenis struktur geologi dan proses yang mewujudkan keadaan yang menarik untuk pembentukan reservoir yang cukup besar untuk dieksploitasi.

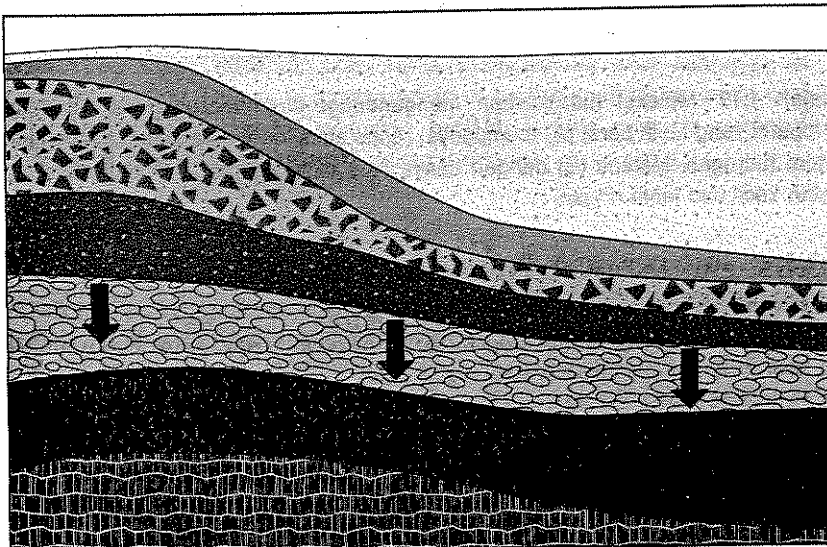
Asal Usul Petroleum

Ramai ahli geologi percaya bahawa petroleum ialah hasil penguraian bahan organik—tumbuhan dan haiwan—oleh proses yang tidak dikenali (teori organik). Bagaimanapun, beberapa orang berpendapat bahawa hayat tidak ada kaitan langsung dengan pembentukan petroleum (teori tak organik).

Teori Organik

Teori organik mempertahankan bahawa minyak dan gas terbentuk daripada sisa tumbuhan dan haiwan. (Istilah organik merujuk kepada benda hidup atau organisma.) Kebanyakan ahli geologi berpendapat bahawa tumbuhan dan haiwan yang menjadi minyak dan gas sangat kecil, walaupun dalam ukuran mikroskopik. Secara teori, organisma yang halus ini hidup dalam sungai dan laut purbakala, seperti mana sekarang. Sungai akan menghanyutkan tumbuhan dan haiwan, bersama-sama dengan lodak dan lumpur, ke laut. Jenis organisma yang sama hidup di laut cetek dan di kawasan air jidar benua dari lautan yang lebih panas, tempat mereka jatuh, mendap perlahan-lahan seperti hujan ke dasar lembangan selepas mereka mati. Kebanyakannya dimakan atau teroksida sebelum sampai ke dasar, tetapi sesetengahnya terlepas daripada kemusnahan tetapi terkubur di dalam ooz dan lumpur di dasar laut. Daripada fenomena ini terhasil campuran sedimen kaya (butiran lodak, pasir, dan lumpur) dan bahan organik yang terbentuk akibat terhalangnya bahan ini daripada oksigen yang terlarut di dalam air. Tanpa oksigen, bahan organik tidak mereput dengan cara lazim.

Selepas beribu-ribu tahun, jasad sedimen dan sisa organik yang tebal terbina di dasar laut. Akhirnya, lebih banyak sedimen dimendapkan di atas campuran organik sehingga berat sedimen atas yang besar akan menolak sedimen di bawahnya lebih jauh ke dalam bumi, kedudukan lapisan dasar menjadi batuan (Rajah 1.18). Ahli geologi percaya bahawa haba dan tekanan yang tinggi, tindakan bakteria, tindak balas kimia, dan daya-daya lain bertindak ke atas sisa organik dan mengubah bahan organik tersebut menjadi minyak dan gas.



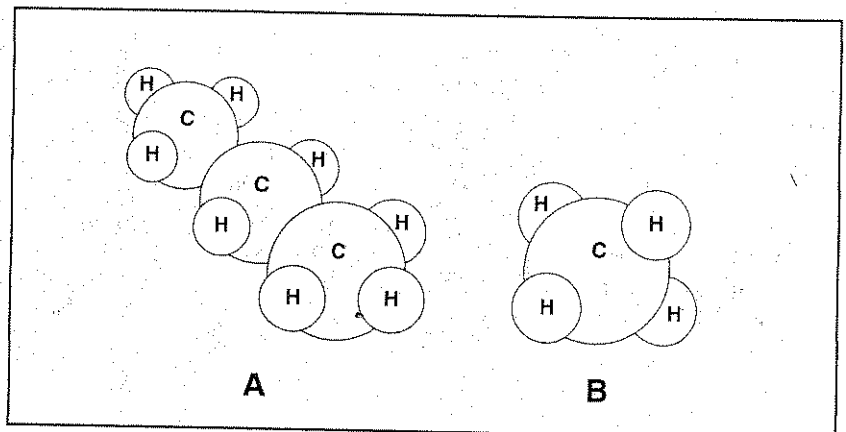
Rajah 1.18 Berdasarkan teori organik pembentukan petroleum, lapisan lodak, lumpur, dan pasir tertimbus jauh di dalam bumi. Akibat tindakan berat lapisan yang di atas, lapisan yang paling bawah berubah menjadi batuan.

Teori Tak Organik

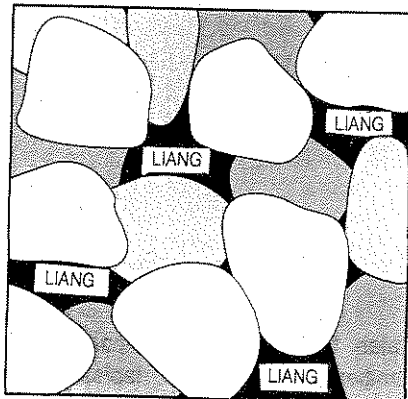
Teori tak organik yang mula dikemukakan dalam awal tahun 1800-an, mengatakan bahawa petroleum ialah baki daripada pembentukan sistem solar atau ia terbentuk jauh di dalam bumi kemudiannya. Teori ini mempunyai kelebihan dalam penjelasan tentang mengapa longgokan petroleum selalu sangat dalam, dalam pola yang lebih mengaitkannya kepada ciri-ciri struktur skala besar kerak berbanding skala yang lebih kecil daripada batuan sedimen. Ahli geologi yang menyokong teori ini juga percaya bahawa ia mampu menerangkan tentang petroleum yang dikeluarkan dari kawasan yang luas selalunya mempunyai sifat kimia yang serupa walaupun formasi tempat petroleum itu dijumpai, terdiri daripada jenis batuan dan usia geologi yang berbeza-beza.

Kimia Hidrokarbon

Semakin jauh di dalam kerak bumi, semakin tinggi tekanan dan suhu yang dialami oleh sesuatu batuan. Bila suhu mencapai lebih kurang 150°F (66°C), karbon dan hidrogen yang berada di dalam batuan mulai bergabung secara kimia dan membentuk beratus jenis molekul hidrokarbon yang berbeza. *Hidrokarbon* ialah rantai atom karbon yang terlekat dengan atom hidrogen (Rajah 1.19). Minyak dan gas asli ialah campuran jenis hidrokarbon yang berbeza-beza. Proses kimia yang berlaku berterusan sehingga ke suhu maksimum 225° hingga 350°F (107° hingga 177°C). Pada suhu yang lebih tinggi daripada suhu maksimum tersebut, molekul rantai-panjang yang lebih berat akan pecah menjadi hidrokarbon yang lebih kecil dan lebih ringan, seperti gas metana. Bagaimanapun, bila suhu lebih tinggi daripada 500°F (260°C), bahan organik musnah sebagai punca untuk petroleum. Teori organik mengatakan bahawa sedimen organik yang tertimbus terlalu dalam tidak menghasilkan hidrokarbon kerana suhu yang terlalu tinggi.



Rajah 1.19 Molekul hidrokarbon mengandungi atom hidrogen dan karbon. Propana yang lebih berat (A) mempunyai rantai atom karbon yang terlekat dengan atom hidrogen. Metana (B) dengan hanya satu atom karbon ialah molekul yang lebih kecil dan lebih ringan.



Rajah 1.20 Bila batuan reservoir diperbesarkan, keliangannya boleh dilihat.

Keliangan dan Ketertelapan Batuan Galas-Minyak

Walaupun batuan secara kasar kelihatan pepejal, sesetengah batuan mempunyai bukaan yang sangat halus, dikenali sebagai *liang*, yang boleh dilihat di bawah kanta pembesar yang kuat (Rajah 1.20). Batuan yang mempunyai liang adalah *poros*, dan keliangannya, boleh diukur biar pun sukar. Sebarang minyak dan gas yang wujud di dalam batuan berada di dalam liang tersebut (ingat bahawa reservoir seperti span).

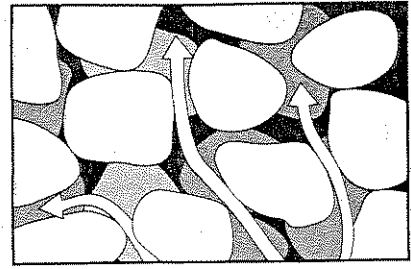
Semakin tinggi keliangan formasi, semakin banyak petroleum yang mampu ditakung oleh formasi berkaitan. Keliangan mungkin berubah dari

nilai yang lebih kecil daripada 5 peratus dalam batu pasir atau karbonat yang tersimen padat ke nilai yang lebih tinggi daripada 30 peratus dalam pasir tak kukuh. Untuk mempunyai nilai komersil, batuan reservoir mesti mempunyai keliangan 10 peratus atau lebih – iaitu, paling sedikit, 10 peratus daripada batuan mesti merupakan ruang liang, yang mampu mengandungi petroleum.

Keliangan tidak berguna jika batuan tidak *telap*. Batuan telap apabila liangnya berhubungan – iaitu minyak, gas, dan air boleh mengalir melalui-nya dengan bergerak dari satu liang ke liang yang lain (Rajah 1.21). Hidrokarbon dalam batuan yang mempunyai ketertelapan rendah sukar untuk bergerak di dalam batuan, dan dengan demikian tidak boleh mengalir ke dalam telaga. Unit pengukuran ketertelapan ialah *darcy*. Kebanyakan reservoir petroleum mempunyai ketertelapan yang sangat kecil sehingga ketertelapannya diukur dalam per seribu darcy, atau *milidarcy*. Formasi yang poros tidak semestinya telap, tetapi formasi yang sangat poros lazimnya sangat telap. Batu kapur dan karbonat (seperti batu kapur dan dolomit) lazimnya ialah batuan yang paling poros dan telap, dan juga merupakan batuan reservoir yang paling lazim.

Batuan yang poros dan mengandungi hidrokarbon tetapi secara praktik tidak telap dikenali sebagai *syal*, dan minyak yang terdapat di dalamnya ialah *minyak syal*. Contoh bahagian barat A.S. mempunyai longgokan syal yang besar tetapi petroleumnya tidak akan mengalir ke dalam telaga. Teknik perlombongan yang termaju dan teknologi inovatif yang lain mesti digunakan untuk mendapatkan hidrokarbon daripada batuan jenis berkenaan.

Pasir tar ialah punca hidrokarbon yang lain dan merupakan formasi yang terbentuk daripada pasir yang tersimen bersama-sama dengan tar atau asphalt, jenis minyak yang sangat lekit. Seperti syal, pasir tar memerlukan inovasi teknologi, ekonomi dan persekitaran untuk kita memperoleh hidrokarbonnya. Kanada, Venezuela, dan Russia mempunyai longgokan pasir tar yang luas.



Rajah 1.21 Batuan adalah telap apabila liangnya berhubungan.

Penghijrahan Petroleum

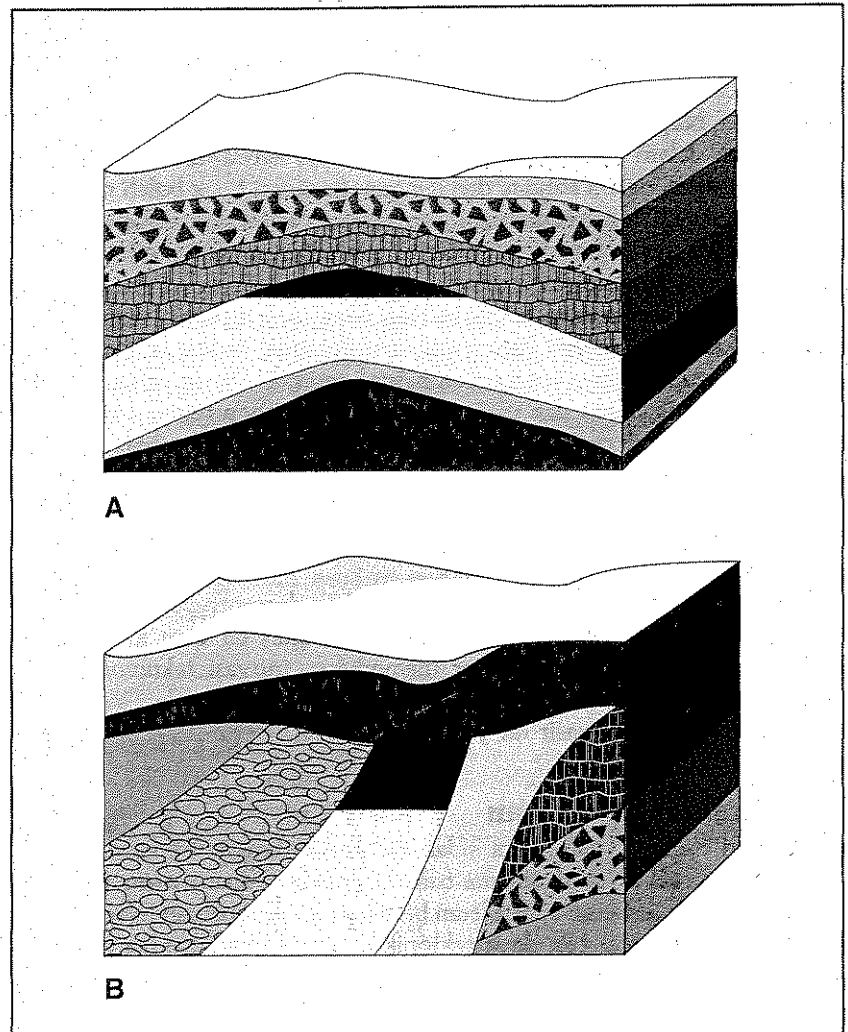
Dalam teori organik, petroleum tidak terbentuk dengan kepekatan yang tinggi; pada mulanya, ia terselerak sebagaimana bahan organik daripada mana ia berasal. Bagaimanapun, apabila telah terbentuk petroleum berhijrah melalui batuan telap dan tertumpuk dalam jumlah yang besar. Apabila daya tektonik menggerakkan batuan galas-petroleum keluar dari tempat lahirnya, tekanan yang tinggi daripada formasi di atasnya akan menghimpit petroleum keluar daripada syal yang kurang telap ke dalam retakan dan formasi yang lebih telap seperti batu pasir. Ia meleleh secara malar, mengikuti laluan yang berbelit-belit ke atas, selalunya ke permukaan bumi. Minyak dan gas cenderung mencari aras yang lebih cetek. Petroleum tersebut akan terus mengalir ke atas sehingga ia lepas keluar di permukaan bumi, kecuali ia terperangkap di bawah permukaan bumi oleh formasi geologi. Sebenarnya, fenomena ini selalunya berlaku kerana manusia purbakala telah menemui minyak di tempat yang dikenali sebagai *tirisan*.

Perangkap

Bila batuan reservoir cukup poros dan telap, petroleum mungkin berhijrah. Bagaimanapun, jika petroleum hendak menumpuk, sesuatu mesti menghentikan penghijrahan itu.

Perangkap ialah susunan lapisan batuan yang mengandungi tumpukan hidrokarbon, dan mencegahnya daripada mengalir ke permukaan. Perangkap terdiri daripada lapisan batuan yang tidak telap di atas lapisan yang poros dan telap yang mengandungi hidrokarbon. Perangkap boleh wujud dalam pelbagai bentuk, ukuran, dan jenis. Cara yang paling mudah untuk mengelompok perangkap adalah dengan memerhatikan ciri-ciri geologi yang menyebabkan perangkap terbentuk. Jenis asas perangkap ialah perangkap yang terbentuk akibat lipatan, sesar, ketakselarasan, kubah atau palam, perubahan ketertelapan dalam formasi, atau gabungan faktor-faktor tersebut.

Ahli geologi mengelompok perangkap kepada dua jenis asas: *struktur* dan *stratigrafi* (Rajah 1.22). Perangkap struktur terjadi apabila formasi reservoir terancang. Perangkap stratigrafi ialah perangkap yang keliangan atau ketertelapannya berubah dalam formasi yang berkenaan.



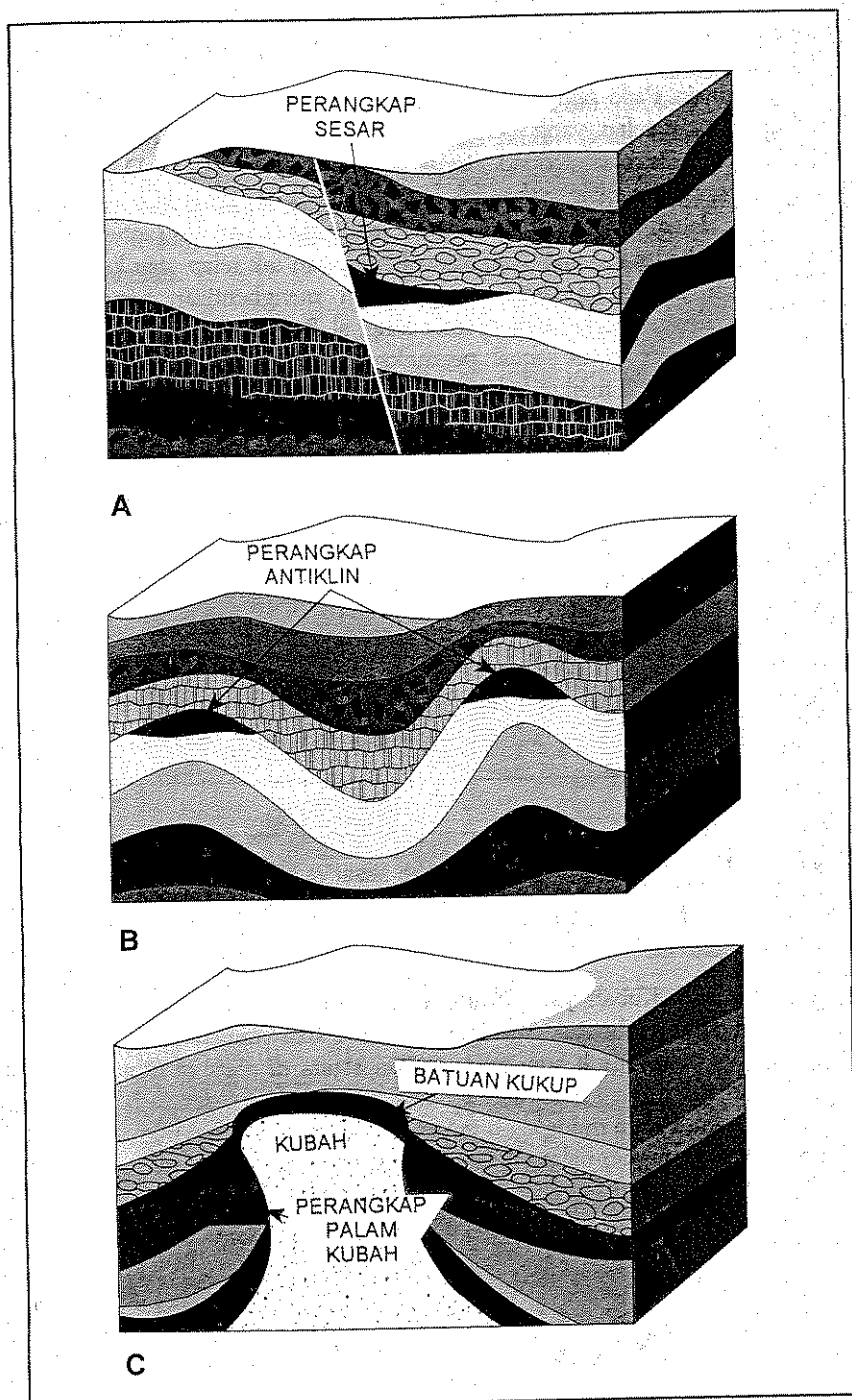
Rajah 1.22 Jenis asas perangkap hidrokarbon ialah struktur (A) dan stratigrafi (B).

Perangkap Struktur

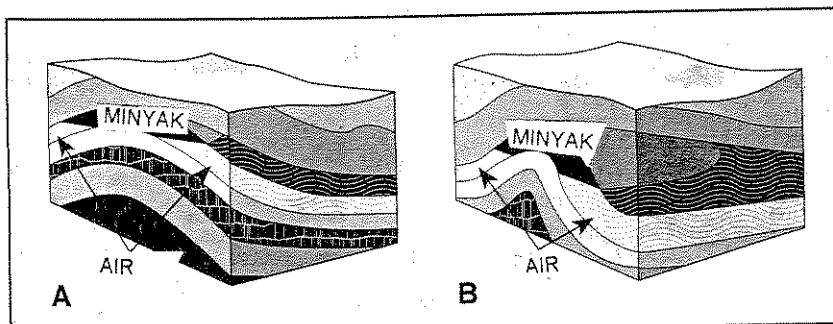
Perangkap struktur wujud dalam pelbagai ukuran dan bentuk. Kebanyakan perangkap ini dibentuk oleh lipatan atau penyesaran batuan reservoir (Rajah 1.23). Beberapa perangkap struktur yang lazim ialah perangkap antiklin, perangkap sesar, dan perangkap palam kubah.

Perangkap Antiklin

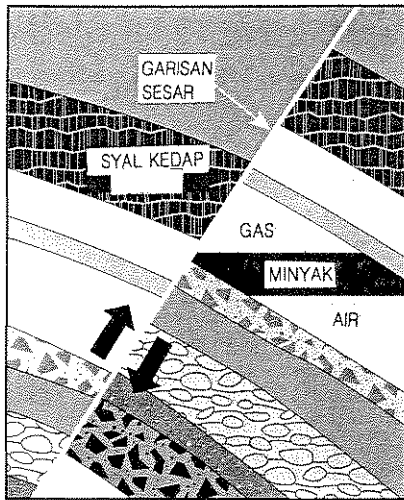
Reservoir yang dibentuk oleh lipatan biasanya mempunyai bentuk antiklin atau kubah (Rajah 1.24). Pada *perangkap antiklin*, lapisan batuan yang pada asalnya mendatar dilipat ke atas sebagai gerbang atau kubah. Kemudian, hidrokarbon berhijrah dari bawah ke dalam salah satu lapisan yang porous dan telap di dalam antiklin atau kubah dan menumpuk di bahagian atas lapisan porous yang terlipat. Pergerakan ke atas selanjutnya ditahan oleh bentuk struktur dan oleh pengedap atau *batuan tukup*—lapisan batuan tak telap yang melapisi di atas reservoir. Dua contoh medan minyak dengan perangkap antiklin ialah medan Santa Fe Spring di California dan medan Agha Jari di Iran.



Rajah 1.23 Jenis lazim perangkap struktur (ditunjukkan sebagai kawasan warna hitam) ialah perangkap sesar, perangkap antiklin, dan perangkap palam kubah.



Rajah 1.24 Minyak menumpuk di dalam struktur berbentuk kubah (A) dan struktur terlipat jenis antiklin (B). Antiklin umumnya panjang dan sempit, sedangkan kubah mempunyai garis bentuk yang bulat.

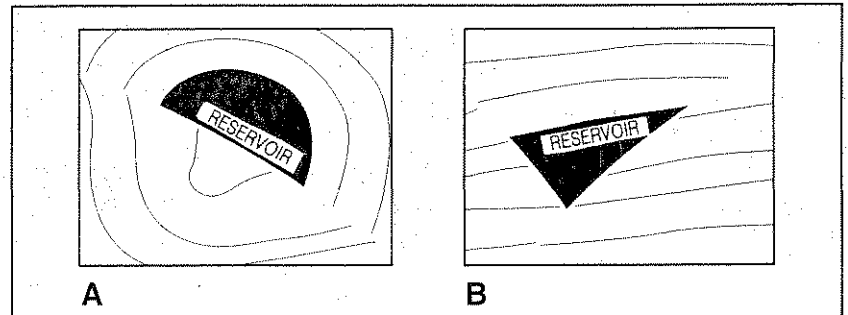


Rajah 1.25 Gas dan minyak terperangkap di dalam perangkap sesar—sebuah reservoir terhasil daripada sesar normal atau ofset daripada strata. Bahagian kanan daripada garisan sesar telah bergerak ke atas, meninggalkan syal kedap bersententang dengan formasi galas-hidrokarbon.

Perangkap Sesar

Sebagaimana yang digambarkan oleh namanya, *perangkap sesar*, dibentuk oleh pergerakan batuan sepanjang garisan sesar. Batuan reservoir hanya pada satu sisi sesar sahaja. Pada sisi yang lain, dalam satu jenis perangkap sesar, ialah satu lapisan tak telap yang bergerak bertentangan dengan reservoir dan mencegah hidrokarbon daripada terus berhijrah (Rajah 1.25). Dalam jenis perangkap sesar yang lain, bahan tak telap ialah batuan yang dikenali sebagai *kerukan* di dalam zon sesar tersebut. Perangkap sesar bergantung pada keberkesanan kedapan yang diberikan oleh lapisan tak telap atau kerukan.

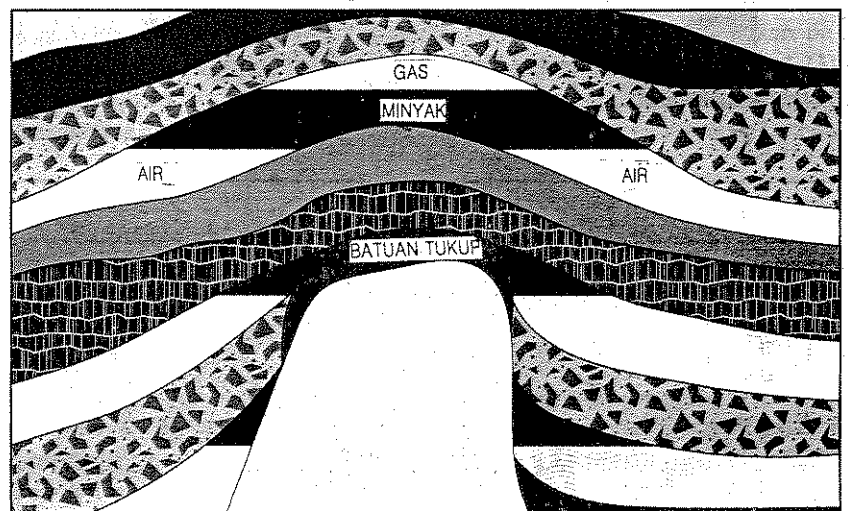
Sebuah perangkap sesar yang mudah menghentikan penghijrahan hidrokarbon dengan hanya sebuah sesar tunggal. Bagaimanapun, dua atau tiga sesar mungkin membentuk sebuah perangkap (Rajah 1.26). Petroleum di dalam perangkap cenderung menumpuk dalam arah memanjang, selari dengan trend sesar. Contohnya, penumpukan dalam kebanyakan medan minyak sepanjang zon sesar Mexia-Talco berlanjutan dari tengah hingga ke timur laut Texas.



Rajah 1.26 Peta kontur struktur menunjukkan sesar mudah (A) dan sesar majmuk (B).

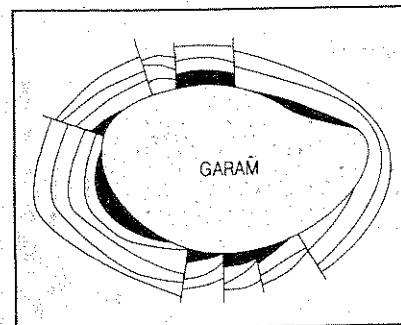
Perangkap Palam

Minyak dan gas dijumpai juga bersekutu dengan kubah. Kubah yang mempunyai teras daripada batuan dikenali sebagai *palam*, bila tertolak ke dalam formasi lain mungkin membentuk perangkap palam. Palam ini lazimnya terbentuk daripada garam tak poros yang telah menusuk, mengubah bentuk atau mengangkat strata di atasnya (Rajah 1.27). Hidrokarbon berhijrah ke dalam sebarang lapisan poros dan telap pada kedua-dua sisi turus garam dan terperangkap kerana hidrokarbon tidak boleh mengalir ke dalam garam. Palam mungkin bundar, sebagaimana medan minyak kubah garam tipikal di Pantai Teluk, A.S., atau di Jerman, atau mungkin palam itu berbentuk panjang dan sempit, seperti di medan minyak Romania.



Rajah 1.27 Jisim garam tak poros membentuk perangkap berbentuk kubah di sebelah atas dan di sekeliling batuan poros.

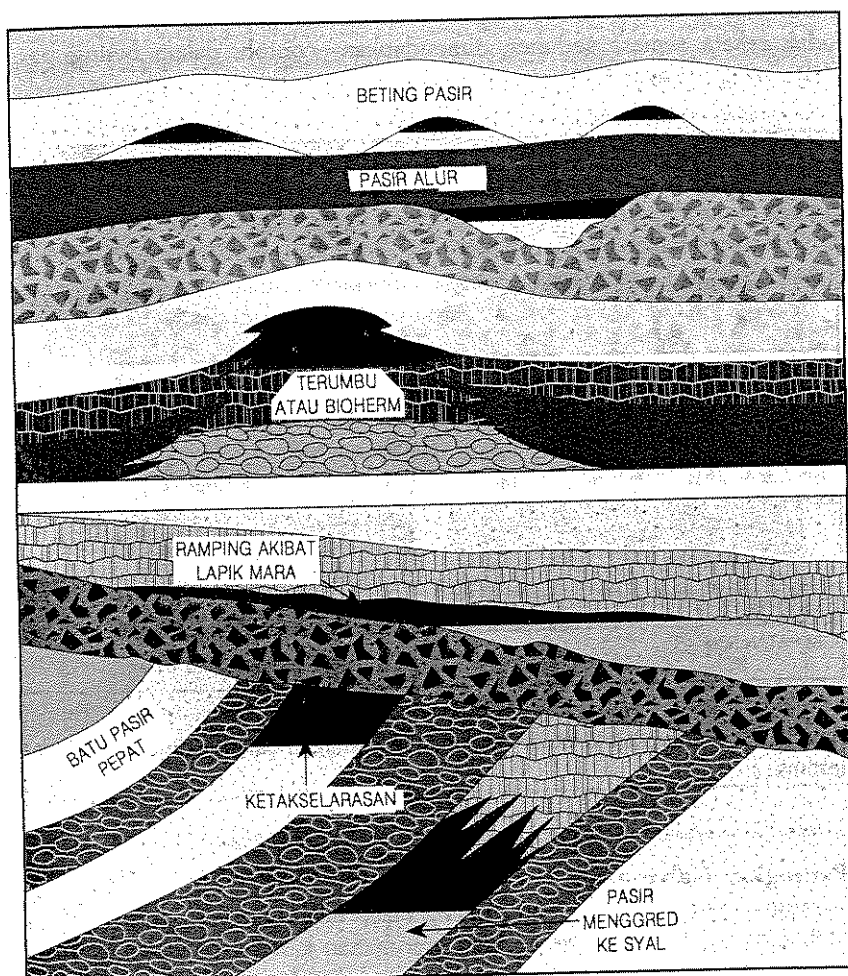
Penumpukan hidrokarbon di dalam perangkap di luar palam garam biasanya tidak selanjat tetapi berpecah kepada segmen terpisah akibat penyesaran (Rajah 1.28). Ketakselanjatan ini boleh menyebabkan perangkap palam sukar untuk digerudi dengan jayanya. Ahli geologi mengetahui adanya perangkap di kawasan tersebut, tetapi tidak mampu meramal kedudukannya dengan tepat. Akibatnya, syarikat minyak mungkin menggerudi lubang kering dalam usaha mencari reservoir. Bagaimanapun, kemajuan terkini dalam pentafsiran data eksplorasi telah meningkatkan kadar kejayaan.



Rajah 1.28 Perangkap keliling tak selanjat terbentuk di sekeliling kubah garam tusukan.

Perangkap Stratigrafi

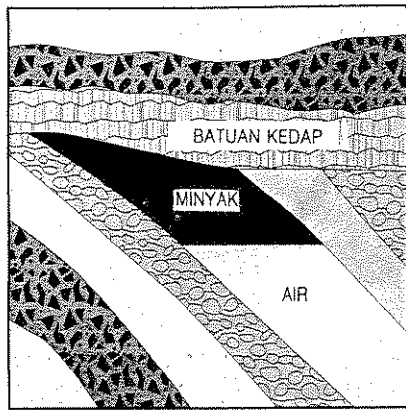
Perangkap stratigrafi diakibatkan sama ada oleh formasi tak poros mengedap sisi atas lapisan reservoir atau akibat berlakunya perubahan keliangan dan ketertelapan di dalam lapisan reservoir berkaitan (Rajah 1.29).



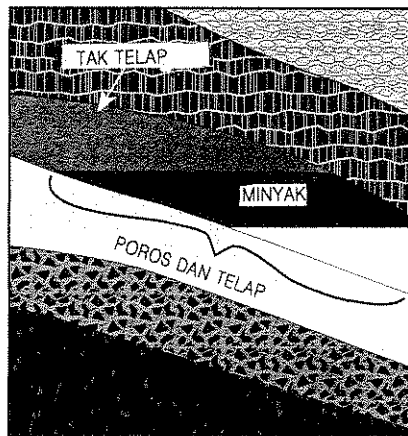
Rajah 1.29 Jenis lazim perangkap stratigrafi.

Ketakselarasan

Di sesetengah bahagian di dalam kerak bumi, lapisan batuan terbentuk dan kemudiannya terhakis, dan sedimen baru dimendapkan di atasnya untuk membentuk lapisan batuan yang lebih muda. Jurang masa dalam rekod geologi dikenali sebagai *ketakselarasan*. Ahli geologi membezakan tiga jenis ketakselarasan: nonkonformiti, diskonformiti, dan ketakselarasan bersudut.



Rajah 1.30 Minyak terperangkap di bawah ketakselarasan.



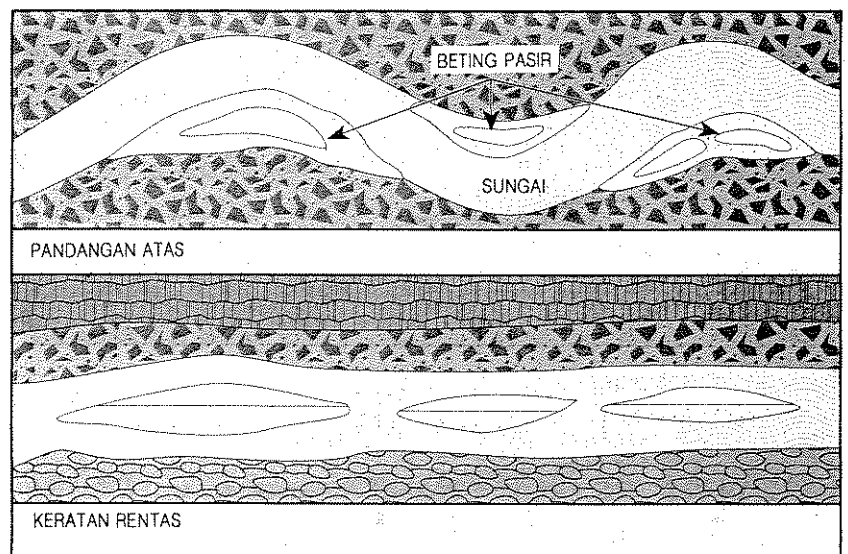
Rajah 1.32 Perubahan ketertelapan di dalam lapisan batuan boleh membentuk perangkap. Bahagian bawah lapisan adalah poros dan telap, tetapi bahagian atasnya tidak.

Nonkonformiti ialah ketakselarasan yang lapisan batuan lebih tua, terhakis merupakan batuan igneus dan lapisan barunya ialah sedimen (Rajah 1.30). *Diskonformiti* ialah ketakselarasan yang lapisan batuan tua selari dengan lapisan batuan baru. Dalam *ketakselarasan bersudut*, batuan lebih tua di bawah ketakselarasan telah tercangga sebelum batuan di atasnya tergendap. Ini mengakibatkan dua strata miring antara satu sama lain.

Ketakselarasan boleh membentuk perangkap jika sebahagian lapisan poros terhakis dan kemudiannya ditimbus oleh batuan tukap yang tak telap. Contoh reservoir yang dibentuk oleh ketakselarasan bersudut ialah medan Texas Timur.

Perangkap Kekanta

Perubahan ketertelapan di dalam lapisan batuan menyebabkan *perangkap kekanta*. Perubahan mendadak jumlah liang yang berhubungan yang mengedap hidrokarbon dalam bahagian lapisan yang lebih telap. Perubahan ini mungkin diakibatkan oleh taburan pasir dan lempung yang tidak sekata semasa sedimen dimendapkan—contoh, dalam beting pasir delta sungai (Rajah 1.31).



Rajah 1.31 Perangkap kekanta selalunya terbentuk di dalam beting pasir sungai tertimbus.

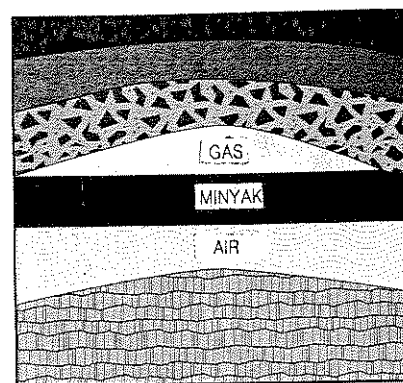
Perangkap Gabungan

Barangkali jenis reservoir yang paling lazim ialah reservoir yang dibentuk oleh gabungan lipatan, penyesaran, perubahan ketertelapan, dan keadaan-keadaan lain. Contoh, reservoir boleh wujud di dalam antiklin yang tersesar dan berkaitan dengan ketakselarasan (Rajah 1.32). Medan Seeligson di Barat Daya Texas dan sebahagian dari medan Texas Timur ialah reservoir dengan perangkap gabungan.

Bendalir ialah sebarang bahan yang boleh mengalir. Batuan reservoir lazimnya mengandungi tiga bendalir: tambahan kepada minyak dan gas, batuan juga mengandungi air garam. Minyak dan air ialah cecair dan juga bendalir. Gas asli ialah bendalir tetapi tidak sebagai cecair dalam keadaan aslinya, walaupun gas tersebut boleh dicairkan dengan kaedah-kaedah buatan.

Di dalam reservoir, tiga bendalir boleh bercampur atau berlapis atau kedua-duanya. Bila berlapisan, yang paling ringan (gas) berada di atas, kemudian minyak di tengah-tengah, dan yang paling berat (air) di dasar, seperti kandungan botol kuah salad Itali (Rajah 1.33). Syarikat-syarikat petroleum menghendaki supaya reservoir mengandungi tiga bendalir dalam lapisan kerana tekanan gas dan air selalunya boleh memandu minyak keluar dari batuan ke permukaan, sehingga tidak diperlukan pengepaman.

BENDALIR RESERVOIR

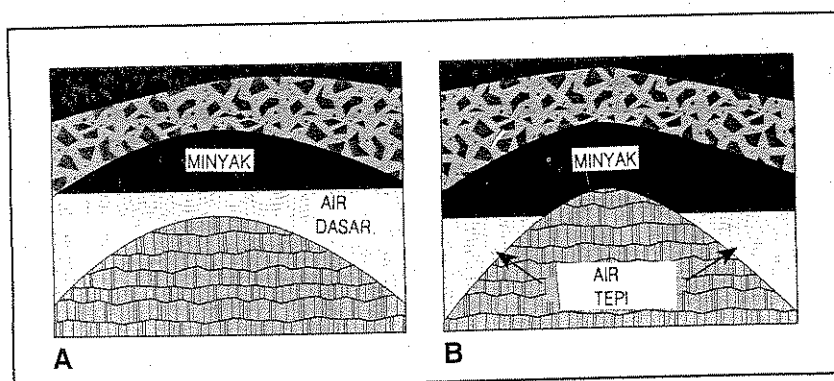


Rajah 1.33 Bila hidrokarbon berlapis di dalam reservoir, air di dasar dan gas di atas.

Air

Kebanyakan reservoir minyak ialah formasi sedimen yang termendap di dalam atau berdekatan laut. Lapisan-lapisan sedimen ini asalnya ditepu dengan air garam. Pembentukan petroleum menyesar sebahagian daripada air tersebut, tetapi sebahagian lain tetap di dalam lapisan. Air garam yang tertinggal di dalam formasi dikenali sebagai *air ruang antara konat*—daripada perkataan Latin *connate* yang bererti "lahir dengan" dan *ruang antara* kerana air dijumpai di dalam ruang antara, atau liang formasi. Untuk kegunaan awam, istilah ini telah dipendekkan kepada *air konat* dan selalu bererti air yang berada di dalam formasi apabila reservoir terbentuk.

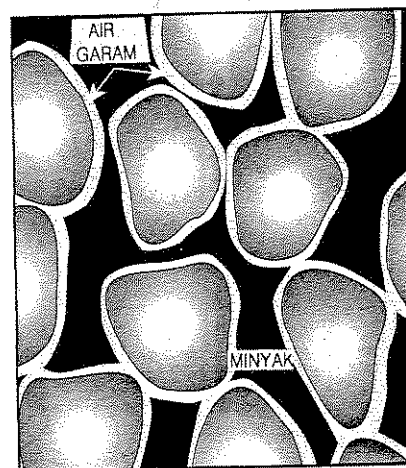
Air konat di seluruh reservoir. Bagaimanapun, hampir semua reservoir petroleum mempunyai air tambahan yang tertumpuk bersama-sama dengan petroleum. Air "bebas" inilah yang membekal tenaga untuk pacuan air. *Air dasar* wujud di bawah tumpukan minyak; *air tepi* pula dijumpai di tepi zon minyak (Rajah 1.34).



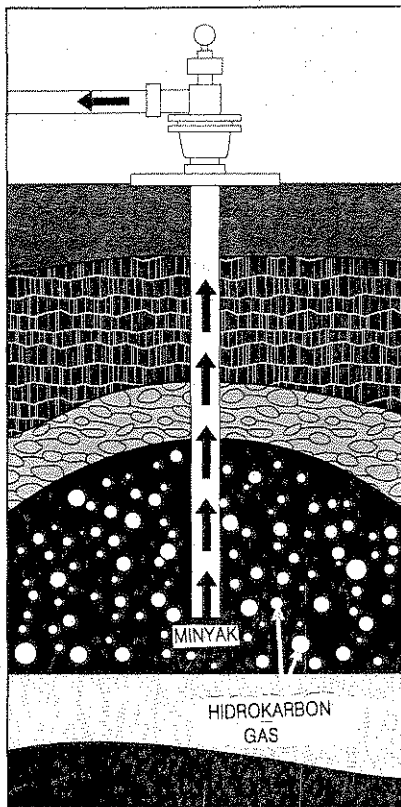
Rajah 1.34 Air dasar berada di bawah petroleum di dalam reservoir (A), dan air tepi berada di tepi zon minyak (B).

Minyak

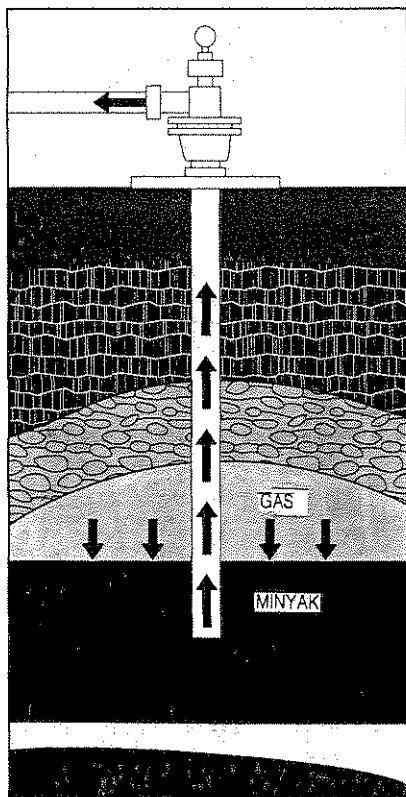
Minyak yang lebih ringan daripada air dan tidak akan bercampur dengannya, memasuki liang batuan reservoir dengan cara menolak air ke bawah. Bagaimanapun, minyak tidak akan menyesar seluruh air. Selaput air melekat pada, atau dijerap oleh bahan batuan pejal di sekeliling liang (Rajah 1.35). Selaput ini dikenali sebagai *air basahan*. Dalam perkataan lain, air tidak hanya di dalam reservoir iaitu di bawah tumpukan minyak tetapi juga di dalam liang bersama-sama dengan minyak. Terdapat juga (tetapi jarang dijumpai) reservoir basah-minyak, iaitu tiada selaput air melapisi liang tetapi mungkin mempunyai ketepuan minyak 100 peratus daripada keliangan yang wujud.



Rajah 1.35 Air basahan selalu menyaluti butiran batuan reservoir.



Rajah 1.36 Gas larutan berada di dalam larutan sehingga telaga digerudi ke dalam reservoir.



Gas Asli

Reservoir selalunya mengandungi gas asli bersama-sama dengan minyak. Tenaga yang dibekalkan oleh gas bertekanan mungkin merupakan pemacu yang paling bernilai untuk menolak minyak keluar dari reservoir. Industri telah lama mengamalkan proses "meniup" gas ke atmosfera. Gas wujud bersama-sama minyak dan air di dalam reservoir melalui dua cara—sebagai *gas larutan* dan sebagai *gas bebas* dalam *tukup gas*.

Pada keadaan tertentu yang sesuai, seperti tekanan tinggi dan suhu rendah, gas asli akan kekal dalam larutan dalam minyak semasa berada di dalam reservoir (Rajah 1.36). Bila minyak keluar di permukaan dan tekanan terbebas, gas keluar daripada larutan, seperti botol air soda men-desis bila tukupnya dibuka. Gas di dalam larutan memenuhi ruangan di dalam reservoir, dan ahli geologi mengambil kira ruangan tersebut semasa pengiraan kandungan minyak di dalam reservoir.

Gas bebas—gas yang tidak larut dalam minyak—cenderung menumpuk di dalam bahagian struktur teratas daripada reservoir dan membentuk *tukup gas* (Rajah 1.37). Selagi ada gas bebas di dalam *tukup gas* reservoir, minyak di dalam reservoir akan sentiasa tepu dengan gas di dalam larutan. Gas terlarut akan menurunkan *kelikatan* minyak (rintangan minyak untuk mengalir), menyebabkan minyak lebih mudah mengalir ke lubang telaga.

Taburan Bendalir

Ahli geologi ingin menentukan aras dalam reservoir tempat lapisan minyak dan air bersentuhan, *garisan sentuhan minyak-air*. Garisan ini penting kerana untuk mendapatkan jumlah minyak maksimum dari reservoir, syarikat minyak tidak ingin mengepam air bersama minyak ke atas. Secara praktikal, semua reservoir mempunyai air di bahagian terbawah formasi, dengan minyak di atasnya. Bagaimanapun, garisan sentuhan minyak-air selalunya tidak meruncing atau mendatar di seluruh reservoir. Sebaliknya, ia ialah zon daripada bahagian air dan bahagian minyak dengan ketebalan beberapa kaki atau meter. Begitu juga halnya dengan garisan sentuhan gas-minyak; tetapi minyak yang lebih berat daripada gas, tidak cenderung naik tinggi ke dalam zon gas, sedangkan air cenderung naik setinggi yang mungkin ke dalam zon minyak.

Rajah 1.37 Gas bebas membentuk *tukup gas*.

Semua bendalir reservoir berada di bawah tekanan. Berat bendalir sendiri menimbulkan tekanan normal. Tekanan abnormal berlaku bila berat formasi di atas reservoir ditambahkan ke dalam tekanan bendalir.

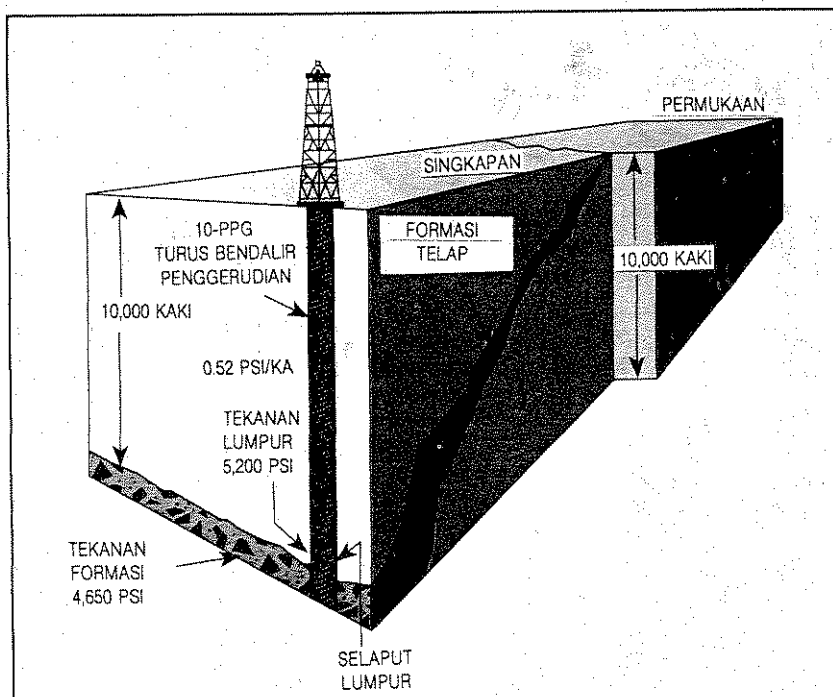
TEKANAN RESERVOIR

Tekanan Normal

Tekanan bendalir wujud di dalam reservoir atas alasan yang sama dengan tekanan wujud di dasar lautan. Bayangkan perenang di dalam kolam renang yang besar ingin melihat sama ada boleh menyentuh dasar atau tidak. Semuanya berjalan lancar kecuali telinga perenang mulai sakit. Semakin dalam ia terjun, telinganya semakin sakit. Alasan kesakitan tersebut ialah tekanan air menekan gegendang telinga. Semakin dalam perenang terjun, semakin tinggi tekanan.

Bendalir di dalam reservoir menghasilkan tekanan sebagaimana air menghasilkan tekanan di dalam kolam renang. Apabila reservoir mempunyai hubungan dengan permukaan (Rajah 1.38), lazimnya tekanan yang ada hanya tekanan yang diakibatkan oleh bendalir di dalam dan di atasnya. Sepanjang hubungan tersebut wujud, batuan yang meliputi reservoir tidak menghasilkan sebarang tekanan lebihan di dalam reservoir. Walaupun beratnya ke bawah dan membebankan formasi, bendalir boleh mengalir ke permukaan dan keluar. Bayangkan semula kolam renang yang penuh dengan air. Masukkan beban batuan yang berat ke dalamnya. Batuan tersebut tidak akan meningkatkan tekanan air; sebaliknya air melimpah ke tepi.

Perkara yang sama berlaku di dalam reservoir. Bagaimanapun tidak seperti kolam renang, hubungan reservoir dengan permukaan selalunya berputar. Ia mungkin tersingkap di permukaan yang jauhnya berbatu-batu, atau ia mungkin berhubung dengan permukaan melalui lapisan poros lain yang menghampirinya. Walaupun dalam kebanyakan kes, selagi reservoir mempunyai alur keluar ke permukaan, tekanan di dalamnya hanya diakibatkan oleh bendalir dan dianggap tekanan normal.



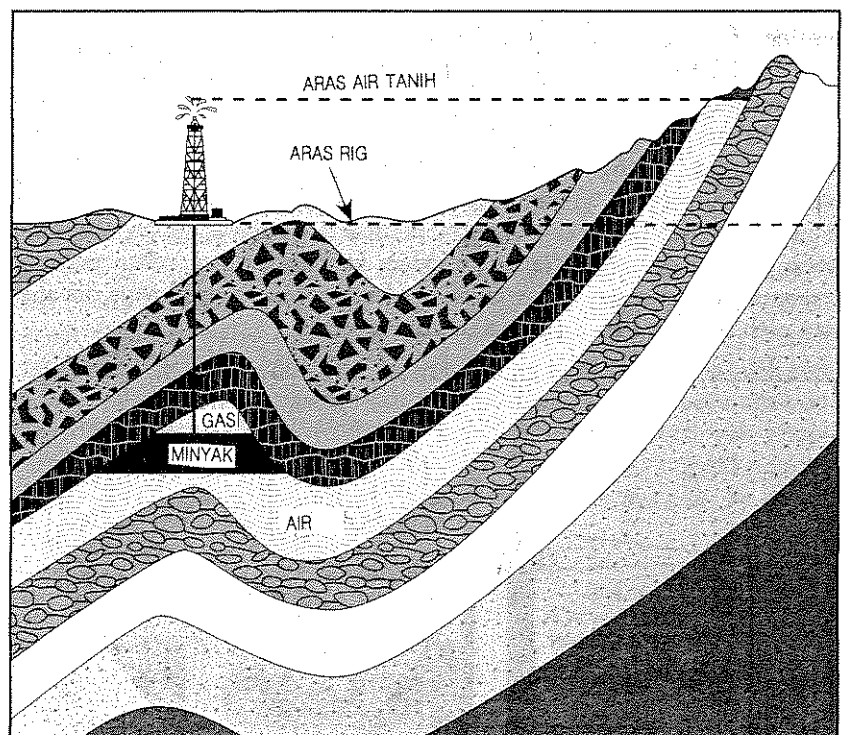
Rajah 1.38 Apabila reservoir petroleum mempunyai hubungan ke permukaan, tekanan dianggap normal.

Tekanan Abnormal

Reservoir yang tidak mempunyai hubungan dengan permukaan lazimnya dikelilingi oleh formasi tak telap. Dalam kes ini, formasi batuan di atasnya menambah tekanan reservoir kerana berat lapisan yang di atasnya menekan ke bawah dan menghimpit reservoir. Oleh sebab bendalir di dalam reservoir tidak boleh keluar ke permukaan, tekanan reservoir menokok ke aras abnormal yang tinggi.

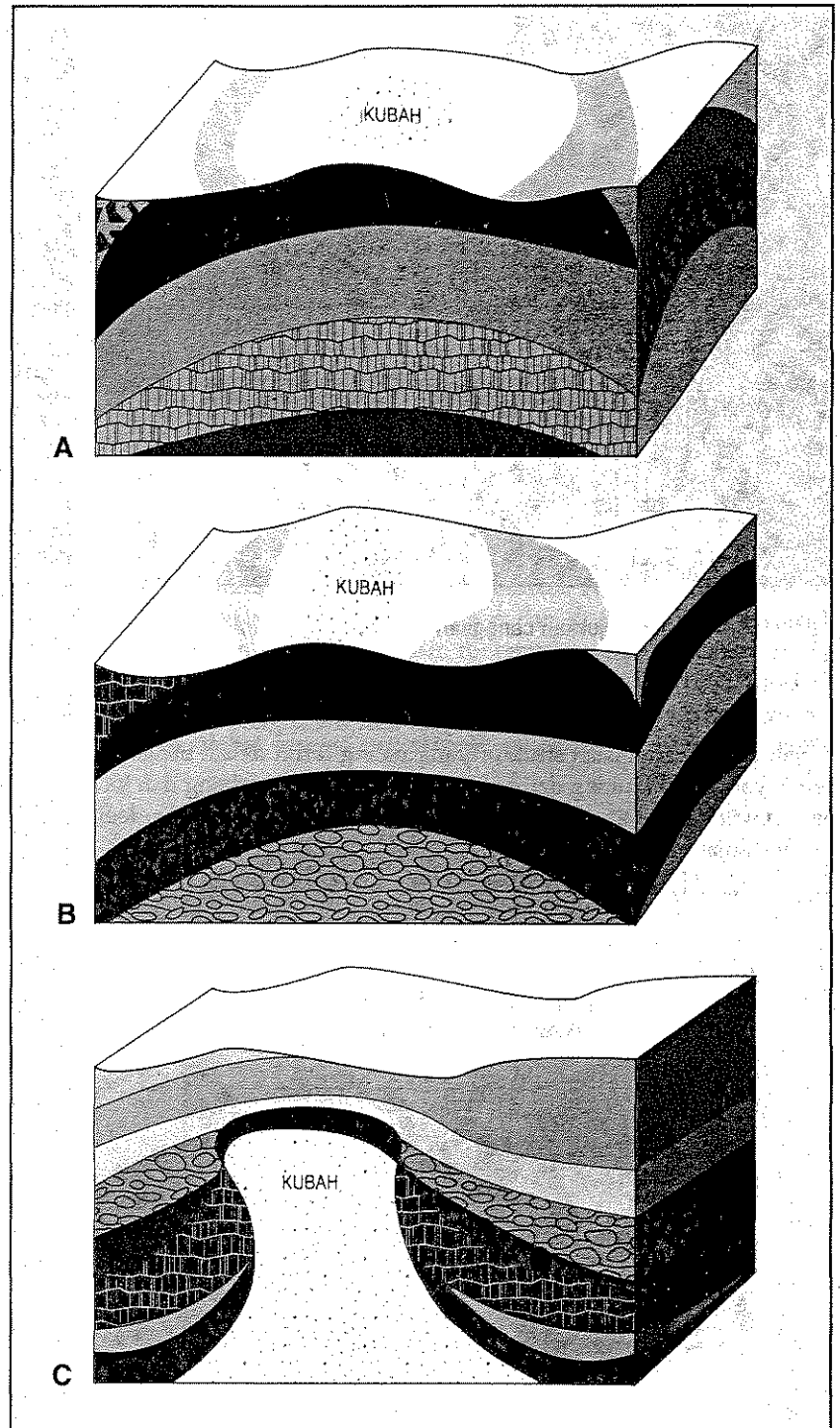
Jika kolam renang mempunyai penutup yang kedap udara di permukaan air dan beban batuan yang berat diletakkan pada penutup tersebut, berat batuan akan menekan ke bawah air, dan air tidak ada tempat untuk keluar. Tekanan pada air akan meningkat dan terus meningkat bila lebih banyak berat menekannya.

Tekanan abnormal yang tinggi boleh juga wujud akibat kesan artesian (Rajah 1.39). Pada kes ini, formasi di sekeliling reservoir memerangkap minyak dan gas, tetapi membolehkan air di bawah minyak mengalir ke permukaan pada jarak yang jauh. Oleh sebab air akan mencari arasnya sendiri, bila telaga menyediakan alur keluar untuk reservoir, air di bawahnya menolak hidrokarbon ke atas dengan sekuat-kuatnya.

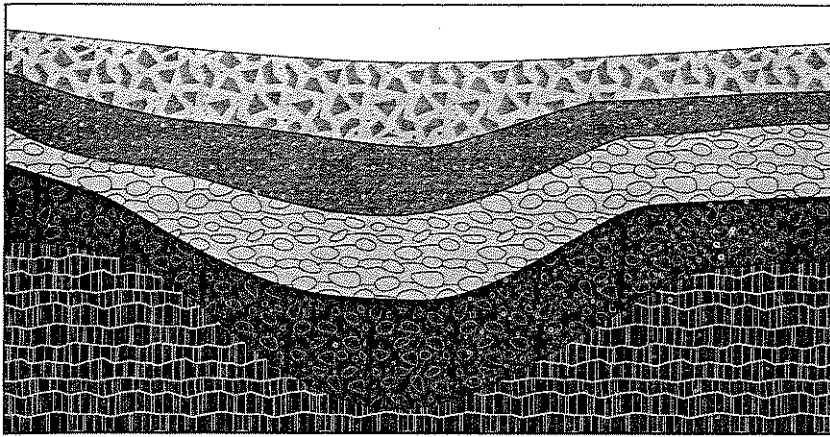


Rajah 1.39 Tekanan abnormal boleh berlaku di dalam formasi yang tersingkap lebih tinggi dari aras rig.

Ahli geologi selanjutnya membahagi antiklin dan sinklin berdasarkan kecondongan lipatan. Antiklin yang rendah dengan puncaknya menunjam ke bawah dari takat tertinggi dalam semua arah dikenali sebagai *kubah* (Rajah 1.9). Kebanyakan kubah berbentuk hampir-hampir bulat. Sesetengahnya mempunyai teras yang terdiri daripada satu jenis batuan sahaja yang telah ditolak ke dalam batuan sekitar dan kemudiannya terangkat, seperti kubah garam sepanjang Pesisir Teluk A.S. Sinklin yang kecondongannya ke arah pusat sepunya dikenali sebagai *lembangan* (Rajah 1.10). Antiklin dan sinklin penting kepada ahli geologi petroleum kerana selalunya mengandungi petroleum.



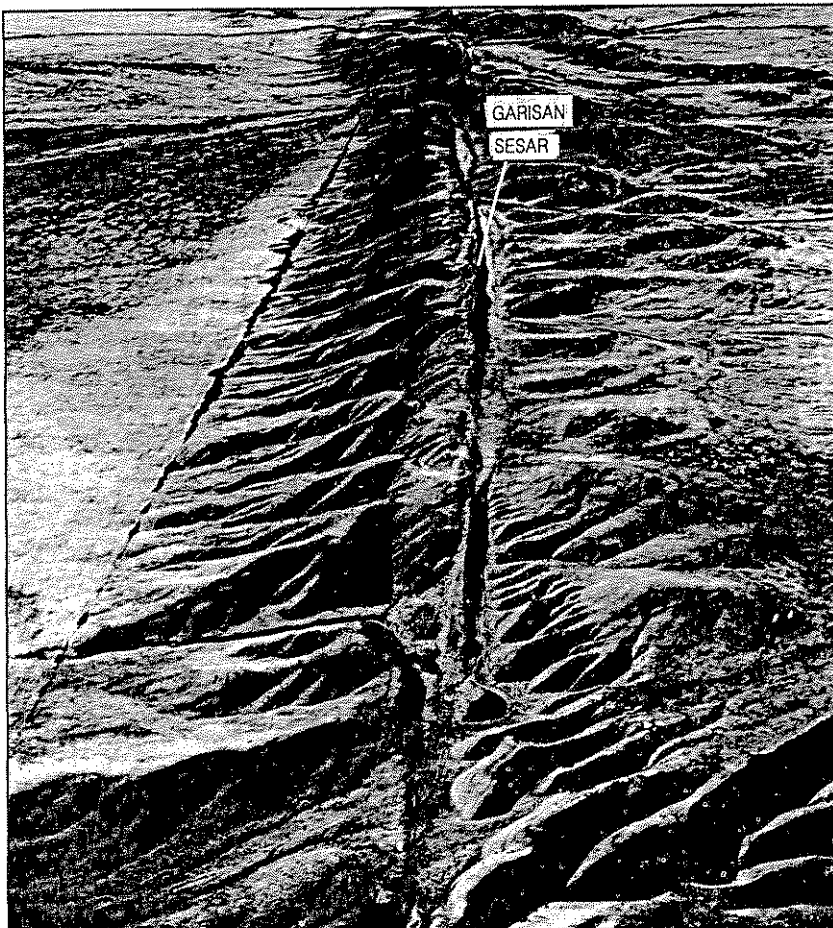
Rajah 1.9 Kubah mungkin berbentuk hampir-hampir bulat (A) atau memanjang (B). Sesetengahnya mempunyai tusukan teras garam atau jenis batuan lain yang telah menolak batuan sekitarnya ke atas (C).



Rajah 1.10 : Lembangan berbentuk berlawanan daripada kubah.

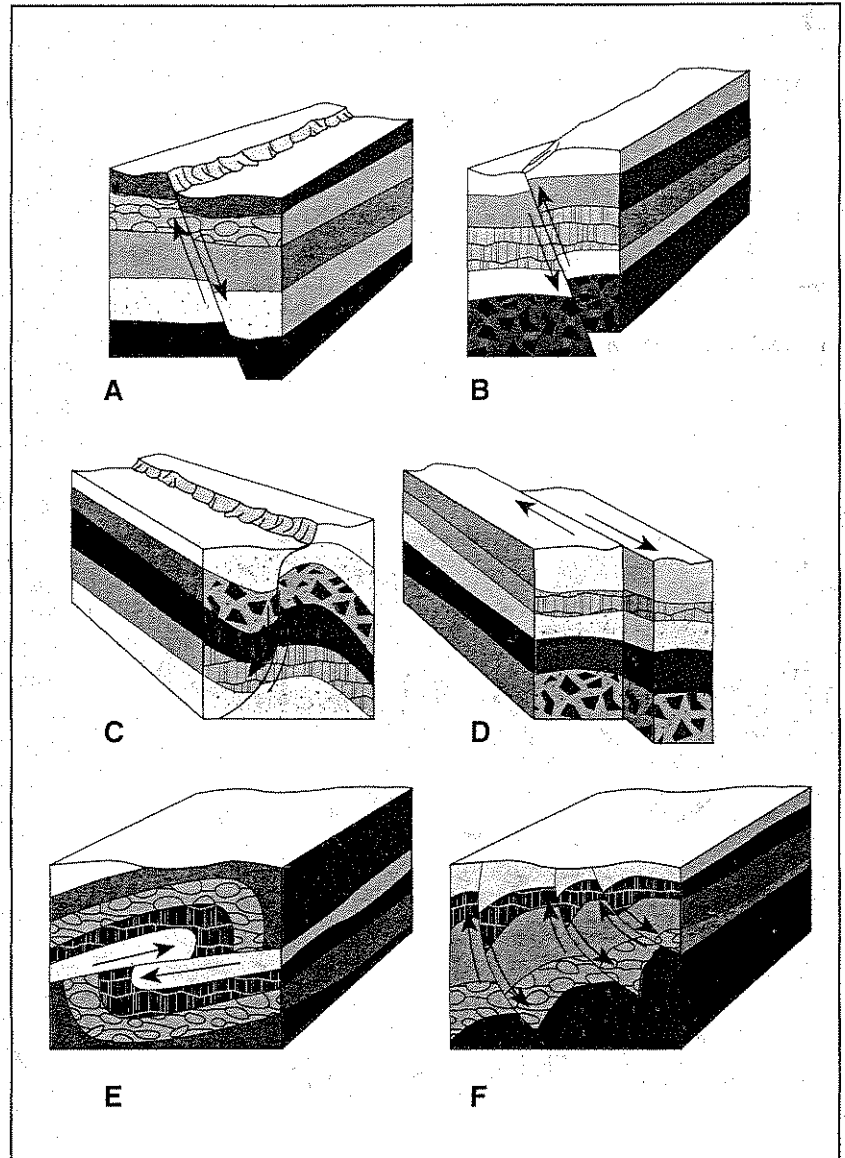
Sesar

Apabila batuan dekat permukaan pecah atau retak, kedua-dua bahagian mungkin bergerak berkaitan antara satu sama lain. Jika ini berlaku, retakan dikenali sebagai *sesar*. Kedua-dua bahagian sepanjang sesar mungkin berpisah hanya beberapa milimeter atau beberapa ela atau meter, sebagaimana di sepanjang Sesar San Andreas di California (Rajah 1.11). Ingat bahawa pantai barat Amerika ialah sempadan di antara dua plat kerak bumi yang terbesar. Bumi yang hampir dengan kedua-dua bahagian sesar San Andreas bergerak dalam arah mendatar sejauh 21 kaki (6.4 meter) semasa gempa bumi besar San Francisco yang berlaku dalam tahun 1906.



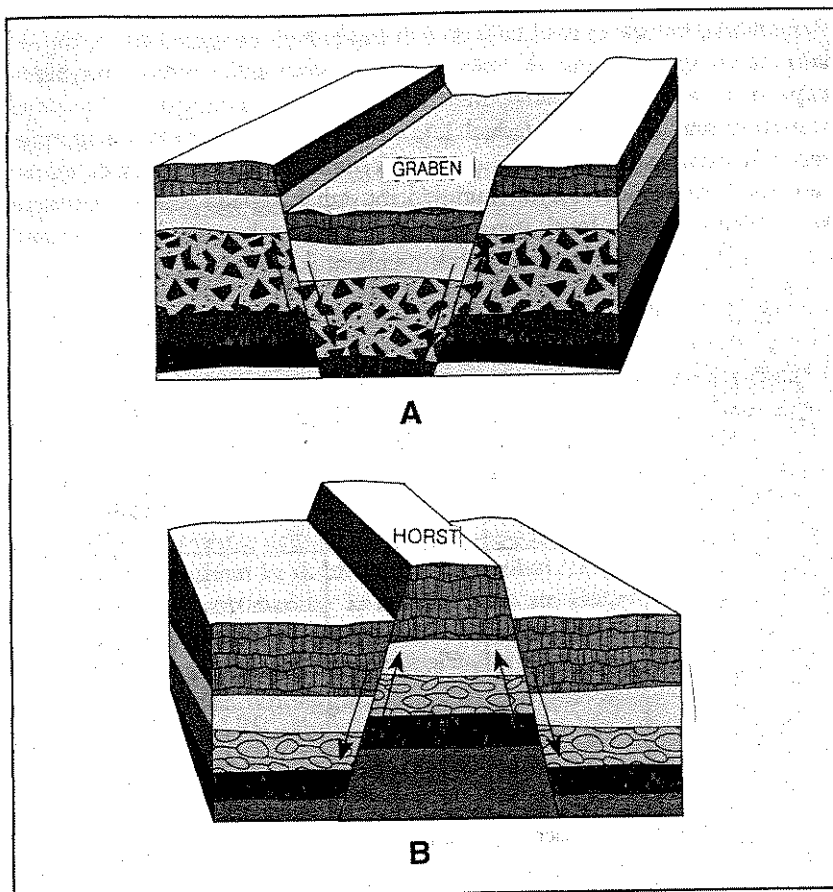
Rajah 1.11 Pemandangan Sesar San Andreas di Carrizo Plain, California menunjukkan garisan sesar yang jelas.

Ahli geologi mengkelas sesar terutama berdasarkan arah pergerakan. Pergerakan umumnya menegak dalam *sesar normal* dan *sesar songsang* tetapi mendatar dalam *sesar tujuh atas* dan *sesar lateral* (Rajah 1.12). Gabungan gerakan menegak dan mendatar juga mungkin berlaku, sebagaimana dalam *sesar tumbuh*. Sesar penting bagi ahli geologi petroleum kerana kesannya kepada kedudukan pengumpulan minyak dan gas. Contoh, bila suatu sesar merentasi lapisan batuan yang mengandungi minyak, ahli geologi boleh meramal pergerakan bahagian lain batuan asal yang mengandungi minyak di dalam kawasan yang sama.



Rajah 1.12 Beberapa jenis sesar yang lazim ialah sesar gelinciran condong normal (A), sesar gelincir condong songsang atau sesar gelincir condong tujuh (B dan C), sesar mendatar (D), sesar tujuh lampau (E), dan sesar tumbuh (F).

Kadang kala sesar boleh menghasilkan ciri-ciri permukaan bumi tertentu yang boleh dikenali (Rajah 1.13). *Graben* ialah blok kerak panjang dan sempit di antara dua sesar yang telah terturun berbanding kerak di sekitarnya. *Horst* pula ialah blok yang serupa tetapi telah terangkat. Di Laut Utara, minyak telah terkumpul di dalam graben di bawah lantai lautan yang terisi dengan sedimen.



Rajah 1.13 Ciri-ciri dua lanskap yang dibentuk oleh sesar ialah graben (A) dan horst (B).

Hayat di Bumi

Lebih kurang 1.5 bilion tahun selepas bumi terbentuk, ahli geologi percaya bahawa organisma hidup berstruktur ringkas wujud di dalam lautan. Bagaimanapun, bentuk yang lebih kompleks (Rajah 1.14) tidak wujud dengan banyak sehinggalah lebih kurang 2.5 bilion tahun kemudian – iaitu pada permulaan kala Kambria, hanya 550 juta tahun lalu. Tidak sehingga kala Devon, lebih kurang 350 juta tahun lalu, baharulah tumbuhan tersebar di daratan. Haiwan daratan juga sukar ditemui sehinggalah menjangkau masa yang lebih lama kemudian.



Rajah 1.14 Hidupan laut yang banyak, membantu pembentukan petroleum di bawah dasar lautan.

Oleh sebab hayat telah berevolusi secara berterusan dari zaman Prakambria, tinggalan fosil haiwan dan tumbuhan menggantikan satu sama lain dalam urutan yang diketahui. Ahli geologi telah mengklas batuan kepada beberapa kumpulan berdasarkan urutan penggantian tersebut, seperti ditunjukkan dalam Jadual 1.1. Ahli geologi juga telah menganggar tempoh masa bagi era, kala, dan epok daripada kajian ke atas mineral radioaktif. Kewujudan hayat mungkin mustahak kepada sejarah petroleum kerana berdasarkan teori yang diterima pakai sekarang, bahan organik merupakan bahan yang perlu untuk pembentukan minyak.

Jadual 1.1
SKALA MASA GEOLOGI

Era	Kala	Epok	Tempoh (juta tahun)	Tarikh (juta tahun)
Senozoik	Kuaterner	Resen	0.01	0.00
		Pleistosen	1	0.01
		Pliosen	10	1
		Miosen	14	11
		Oligosen	15	25
		Eosen	20	40
		Paleosen	10	60
				70 ± 2
	Kapur		65	135 ± 5
	Jura		30	165 ± 10
Mesozoik	Trias		35	200 ± 20
	Perm		35	235 ± 30
	Pennsylvania		30	265 ± 35
	Mississippi		35	300 ± 40
	Devon		50	350 ± 40
Paleozoik	Silures		40	380 ± 40
	Ordovisi		70	460 ± 40
	Kambria		90	550 ± 50
Prakambria			4,500 ±	

(Menurut R.M. Sneider)

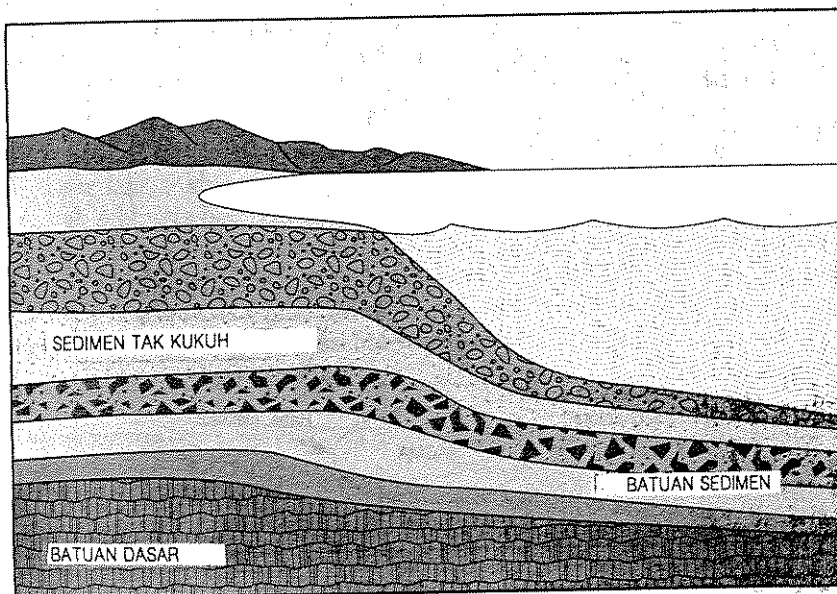
Penggolongan Batuan

Setakat ini semua batuan telah dikelompokkan bersama sebagai bahan pembentuk plat kerak. Bagaimanapun, tentu sahaja bukan semua batuan sama. Jenis batuan yang berbeza akan mengandungi mineral yang berbeza, mempunyai sifat-sifat fizikal yang berbeza, dan terbentuk dengan cara yang berbeza. Ahli geologi telah mengelompok batuan kerak bumi kepada tiga jenis berdasarkan cara pembentukan: igneus, sedimen, dan metamorf.

Jenis Batuan

Jauh di dalam kerak bumi, suhu cukup tinggi untuk melebur batuan menjadi magma. Kadang kala magma meletus ke permukaan sebagai lava, atau ia mungkin masuk ke dalam batuan pepejal bawah tanah yang lain. Dalam kedua-dua kes, bila magma sejuk, ia menjadi pepejal, membentuk batuan igneus, seperti granit dan basalt.

Batuan *sedimen* ialah batuan yang terbentuk berupa lapisan yang mendatar, atau *strata*, daripada sedimen. Sedimen boleh terdiri daripada partikel-partikel batuan lebih tua yang terhakis (igneus, sedimen, atau metamorf) yang telah hanyut menuruni cerun ke dalam tasik atau lautan. Sedimen mungkin juga terdiri daripada mineral yang mendak keluar daripada air. Dalam sebarang kes, air ialah bahan terpenting dalam pembentukan batuan sedimen. Selama berpuluh-puluh ribu tahun, lapisan menjadi tebal, dan berat sedimen yang di atas memadat mendapan yang telah terlonggok sebelumnya (Rajah 1.15). Mineral di dalam air menyimen mendapan tersebut sehingga menjadi batuan sedimen. Batu kapur, batu pasir, dan lempung ialah batuan sedimen yang tipikal.



Rajah 1.15 Berat sedimen di atas, berpadu dengan mineral di dalam air, memadat sedimen menjadi batuan sedimen.

Batuan *metamorf* ialah batuan—sama ada igneus, sedimen, atau batuan metamorf lain—yang telah tertimbun jauh di dalam bumi yang terdedah kepada suhu dan tekanan yang tinggi. Istilah ini berasal daripada perkataan Greek *meta*, yang bermakna berubah, dan *morphe*, yang membawa makna bentuk atau rupa. Semasa proses metamorf, batuan asal mengalami perubahan fizikal dan kimia yang mungkin mengubah komposisi dan penampilannya. Sebagai contoh, batu kapur boleh dimetamorf menjadi marmar, dan batu pasir menjadi kuartzit.